



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN,
PARA INVERNADEROS DE CULTIVO DE
FLORES, A TRAVÉS DE SOFTWARE”**

CÉSAR MAURICIO BARRIERO HIDALGO

JUAN CARLOS LEMA QUINZO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2009

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 17 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

CÉSAR MAURICIO BARREIRO HIDALGO

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN, PARA INVERNADEROS DE
CULTIVO DE FLORES, ATRAVÉS DE SOFTWARE”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) DECANO FACULTAD
MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) DIRECTOR DE TESIS

f) ASESOR DE TESIS

Espoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 17 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

JUAN CARLOS LEMA QUINZO

Titulada:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN, PARA INVERNADEROS DE
CULTIVO DE FLORES, ATRAVÉS DE SOFTWARE”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) DECANO FACULTAD
MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) DIRECTOR DE TESIS

f) ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CÉSAR MAURICIO BARREIRO HIDALGO

TÍTULO DE LA TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN, PARA INVERNADEROS DE CULTIVO DE FLORES, A TRAVÉS DE SOFTWARE"

FECHA DE EXAMINACIÓN: Diciembre, 17 del 2009

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA*	FIRMA
ING. EDUARDO VÁSQUEZ B.			
ING. GILBERTO ZABALA N.			
ING. LUIS VACA			

* Más que un voto de no aprobación es condición suficiente para falla total

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN CARLOS LEMA QUINZO

TÍTULO DE LA TESIS: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN, PARA INVERNADEROS DE CULTIVO DE FLORES, A TRAVÉS DE SOFTWARE"

FECHA DE EXAMINACIÓN: Diciembre, 17 del 2009

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA*	FIRMA
ING. EDUARDO VÁSQUEZ B.			
ING. GILBERTO ZABALA N.			
ING. LUIS VACA			

* Más que un voto de no aprobación es condición suficiente para falla total

RECOMENDACIONES:

El presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de defensa se han cumplido

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) César Mauricio Barreiro Hidalgo

f) Juan Carlos Lema Quinzo

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a las autoridades de la Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica por habernos dado la oportunidad de forjarnos como profesionales con ética y mística de trabajo.

De manera especial al Ing. Gilberto Zabala director de tesis y al Ing. Luis Vaca asesor de la misma, por sus magníficos aportes en la realización de esta tesis.

CMBH, JCLQ

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a Dios, que me ha permitido culminar mis estudios, a mis queridos padres César y Piedad, a mis hermanas que han estado juntos a mí lado en todo momento para apoyarme en todas las decisiones que he tomado y brindarme su sabio consejo, y principalmente a mi amada esposa que con mucha paciencia y amor ha estado junto a mí en todo momento y por haberme dado esos dos hermosos regalos que son mis hijas Paula y Deborah.

César Mauricio Barreiro Hidalgo.

DEDICATORIA

El presente trabajo le dedico a Dios, que me ha dado todo; a mis queridos padres Miguel Angel y Lida María que con su amor, comprensión y paciencia siempre me animaron a no declinar en el camino, a mis hermanos Fernando y Sandra por estar junto a mí en todo momento para poder salir adelante en mi vida estudiantil.

Así como también a mis familiares, amigos y a todas las personas que de una u otra manera supieron en su momento brindarme su apoyo y comprensión.

Juan Carlos Lema Quinzo.

RESUMEN

Se ha realizado el diseño del sistema de control para la climatización, de invernaderos de cultivo de flores, a través de software, con la finalidad de optimizar las condiciones de cultivo de la industria florícola.

Con la implementación del hardware y de acuerdo con las necesidades del usuario se podrá instalar el software, que dependiendo del tipo de flor que se va a producir le permitirá tener un control del microclima dentro del invernadero.

Este trabajo realiza la selección de los diferentes sistemas de climatización. Los factores climáticos externos son la clave fundamental para que se presenten trabajos como este, el mismo que trata de ayudar y complementarse con otras carreras como agronomía y programación de sistemas, que son muy valiosas con su aporte de ideas para la optimización de tiempo y dinero que es lo que le interesa al inversionista.

Se recomienda que antes de diseñar y construir un equipo de dimensiones y costos considerables resulte muy útil crear diseños a escala porque eso permite estudiar el comportamiento de los diversos fenómenos que están presentes en el sistema de climatización.

SUMMARY

The control system for climatization of flower greenhouses through a software to optimize the conditions of culture of the flower industry.

With the implementation of hardware according to the user needs it will be possible to install the software which depending on the flower type to be produced will permit to have a control of the micro-climate in the greenhouses.

This work carries out the selection of the different climatization system. The external climate factor are the fundamental key to present a work like this one which tries to help and complement itself with others careers such as agronomy and system programming which are very valuable with its idea contribution for the optimization of time and money which interests the investor.

It is recommended that before designing and constructing an equipment with considerable dimensions and cost create scale designs because this permits to study the behavior of the different phenomena in the climatization system.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Introducción.

El presente trabajo es una continuación de una tesis presentada anteriormente que dejó una puerta abierta para la investigación y la implementación de nuevos sistemas de monitoreo y control del proceso de climatización dentro de un invernadero acondicionado para el cultivo de flores. El propósito de este trabajo es el de trazar nuevas metas y objetivos en este campo.

Aprovechando todos los avances tecnológicos electrónicos y mecánicos que se encuentran a nuestro alcance podemos realizar una infinidad de mejoras respecto al trabajo que nos antecedió. De este modo, este estudio se propone orientar al lector respecto a cada uno de los sistemas que implementaremos para realizar el monitoreo y el control del clima dentro del invernadero.

La utilización de los invernaderos para los diferentes tipos de cultivos no es reciente ya desde hace algún tiempo atrás se lo viene utilizando y lo que se ha propuesto hasta aquí han sido simplemente mejoras para la optimización de los recursos, ya que como es bien sabido, los productos alimenticios son producidos a partir de químicos que cada vez son más perjudiciales para la salud del hombre.

1.2 Antecedentes.

La clave para el exitoso cultivo de las flores, especialmente las rosas, es laborar bajo invernadero cualquiera que sea su tipo.

En los últimos años la incorporación de tecnología de punta en la producción de flores en el Ecuador, ha favorecido radicalmente su producción. Los invernaderos en ese sentido no son la excepción, su papel fundamental como regulador interno del microclima que ahí se produce, además de una serie de ventajas que han optimizado el rendimiento del suelo y la calidad del producto, son características que con su desarrollo lo han convertido en una herramienta fundamental en las plantaciones florícolas del país.

Dentro de las múltiples funciones que cumple un invernadero, quizás una de las más importantes es la de proteger, dadas sus características estructurales a los cultivos de flores en un espacio cerrado; sus ventajas son evidentes, protege a la planta de los rayos solares perjudiciales y ayuda a la difusión de rayos beneficiosos al cultivo ante las inclemencias del clima.

Existen tesis sobre el diseño y construcción de invernaderos, y el control automático de estos. Este trabajo trata del diseño de un sistema de climatización dentro de un invernadero como una optimización de las investigaciones realizadas anteriormente.

1.3 Justificación.

Las plantas necesitan cierta cantidad de humedad para poder realizar la transpiración, la transpiración vegetal es el motor necesario para que la planta pueda absorber agua y nutrientes desde el suelo y el aire. Además, al humedecer el ambiente, la planta se refresca consiguiendo rebajar su temperatura.

En este caso las flores proceden de zonas cálidas y húmedas. La humedad ambiental en estos lugares puede ser del 75 % y su temperatura se encuentra en unos 30°C, además los altos niveles de humedad ambiental producen una reducción de la transpiración por lo que una planta no adaptada puede asfixiarse al aumentar demasiado su temperatura.

Este es el motivo por el cual se ha propuesto la realización de esta tesis; el diseño de un sistema que permita controlar las variaciones climáticas del aire dentro del invernadero.

El control de la climatización en invernaderos supone un incremento en la calidad y la productividad de las flores. Con este sistema es posible mantener una humedad y temperatura determinada y uniforme, de forma rápida y efectiva, consiguiendo controlar adecuadamente plagas y enfermedades y mejorando el aspecto de la flor cortada.

Por medio del diseño de este software se dejará sentado un precedente con el fin de que se puede modernizar el sector agroindustrial y de alguna forma contribuir al crecimiento económico local.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar un sistema de climatización, para invernaderos de cultivo de flores, a través de un software.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Analizar el marco teórico del cultivo de flores.
- Analizar las alternativas de climatización y seleccionar la más apropiada para los casos de:
 - Calefacción
 - Enfriamiento
 - Humidificación
- Desarrollar un software para el diseño del sistema de climatización, de las alternativas seleccionadas.
- Realizar el análisis de costos del sistema.

CAPÍTULO II

2. ANÁLISIS TEÓRICO DEL CULTIVO DE FLORES

2.1 Cultivo de flores.¹

El cultivo de flores para la exportación en el Ecuador se inicia en el siglo XX, a mediados de los años ochenta; en el año 1985 las exportaciones de flores (en USD FOB) representaron el 0,02% del total de las exportaciones y el 0,1% de las exportaciones agrícolas; en el año 1990 pasaron a constituir el 0,5% del total de las exportaciones y el 2% de las agrícolas; y, en el año 2001, significan el 5% del total de las exportaciones y el 18% de las agrícolas; llegando así, a ser rubros muy destacados en la economía nacional.

Las exportaciones, en USD FOB, siempre han mantenido su tendencia creciente a lo largo de todos los años, basta observar los datos del Banco Central del Ecuador (BCE), que a continuación se presentan en la figura 2.1. En este gráfico, se puede afirmar que desde el año 1993 hasta el 2001 las exportaciones de flores naturales crecen aproximadamente a un ritmo de 23 millones anuales.

TABLA 2.1: Exportaciones de flores naturales.

Año	Miles USD FOB
1985	526
1986	1707
1987	3566
1988	4102
1989	9226
1990	13598
1991	19247
1992	29936
1993	39575
1994	59164
1995	84326
1996	104806
1997	131010
1998	161962
1999	180400
2000	194650
2001	238050

¹ III CENSO NACIONAL AGROPECUARIO - PROYECTO

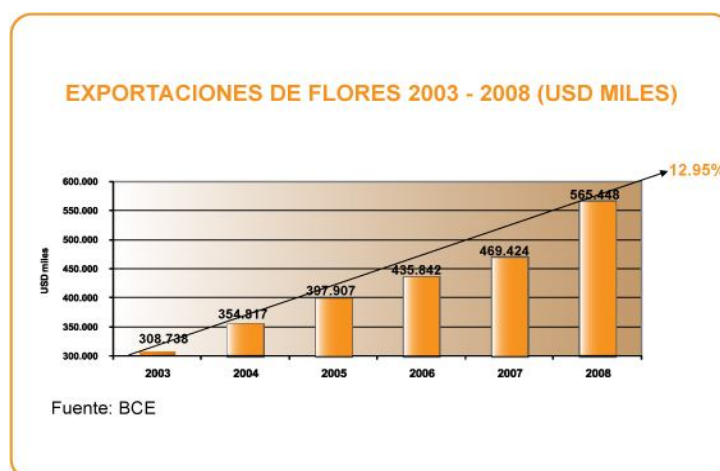
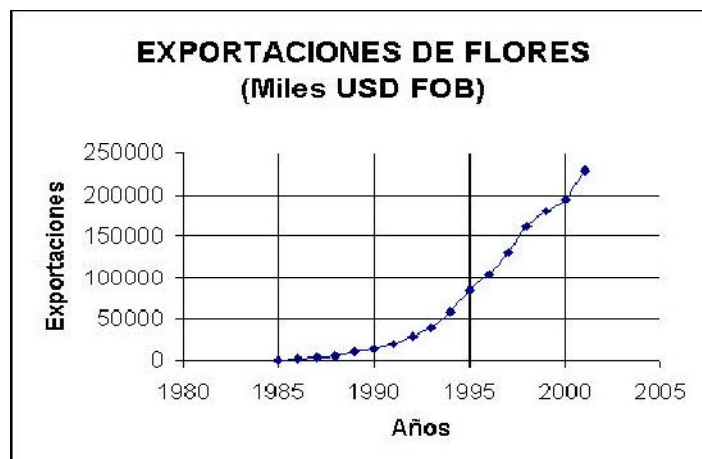


Figura 2.1: Exportaciones de flores.

Por lo mencionado en el párrafo anterior, y comparando estos datos con los otros sectores de la economía agrícola, se puede asegurar que el sector florícola es el que más ha crecido en los últimos quince años en el ámbito agrícola. Por este motivo, es un acierto el haber investigado en el III Censo Nacional Agropecuario sus principales características.

A continuación se presenta un breve análisis de los datos obtenidos en la investigación censal, correspondiente al cultivo de flores.

En el III Censo Nacional Agropecuario del año 2000 se investigaron, a nivel cantonal de las 22 provincias del país, en las Unidades de Producción Agropecuarias (UPAs) que se dedican al cultivo de flores, las siguientes características para cada especie de flor: la superficie cultivada y cortada, la condición del cultivo (invernadero o campo abierto), el número de plantas y de tallos cortados, y finalmente el número de tallos comercializados en el mercado nacional e internacional, y el valor referencial de las ventas correspondientes. El período de referencia de todas estas características

fue el año censal, es decir el comprendido entre el 1 de octubre de 1.999 y el 30 de septiembre del 2.000.

El siguiente análisis corresponde a una descripción de los resultados obtenidos tras el respectivo procesamiento de la información.

2.1.1 Zonas productoras: principales provincias con cultivo de flores.

En el Ecuador existen 22 provincias, que se mencionan y representan geográficamente en la figura 2.2.

Las principales zonas productoras de flores se encuentran en las provincias del Pichincha y del Cotopaxi (en color oscuro en el gráfico); le siguen en importancia las provincias de Azuay, Imbabura y Guayas; finalmente en el grupo de provincias con alguna producción de flores como se incluyen entre otras las provincias de Tungurahua, Carchi, Cañar y Chimborazo.

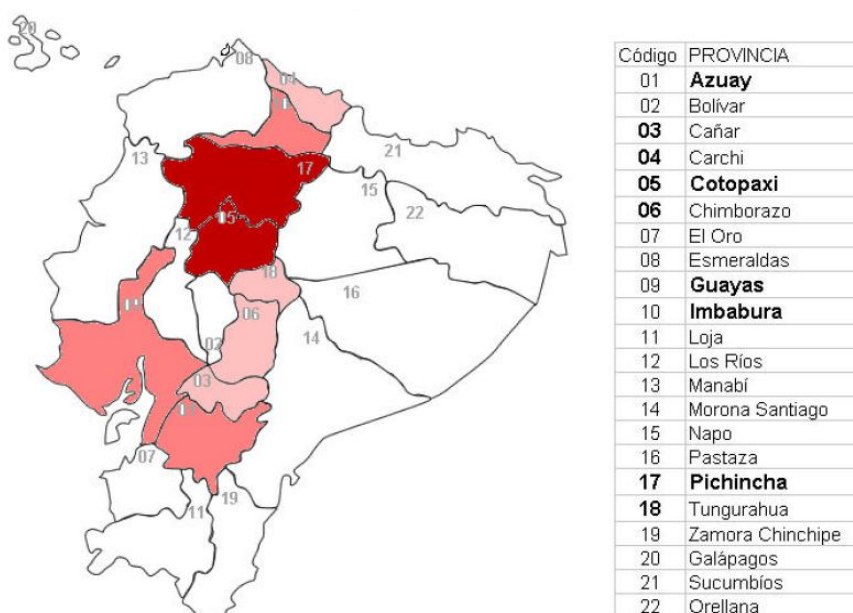


Figura 2.2: Provincias con producción de flores.

2.1.2 La superficie con cultivo de flores y su condición (bajo invernadero y campo abierto).

En el país hay 4729 Ha (aproximadamente 47 Km²) dedicadas al cultivo de flores, de las cuales el 73,6% (casi las tres cuartas partes) corresponden a flores permanentes y el resto (26,4%) a flores transitorias.

La provincia que se destaca, en cuanto a superficie cultivada de flores, es la del Pichincha, con aproximadamente el 66 % de la superficie total (que se desglosa en 49,6% de flores permanentes y 16,4% de transitorias), le siguen Cotopaxi con el 12,1% de la superficie, Azuay con el 5,8%, Imbabura el 5%, Guayas 4,4% (exclusivamente con flores permanentes), y las demás provincias con el 6,6% de la superficie cultivada de flores.

En la figura 2.3 se muestra la distribución de la superficie total cultivada por provincias, desglosando el mencionado porcentaje en cultivo de flores permanentes y transitorias.

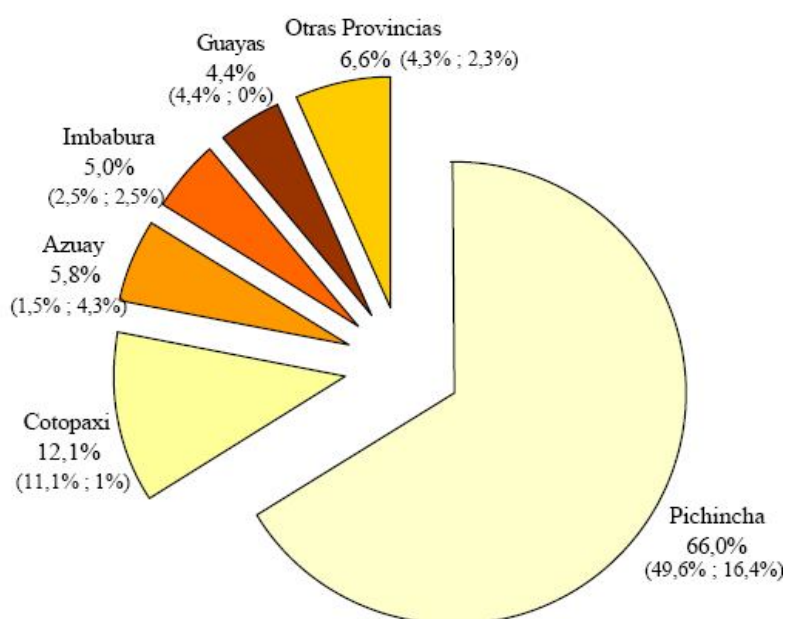


Figura 2.3: Distribucion provincial de la superficie cultivada con flores.

De la superficie total cultivada de flores, es decir de las 4.729 Ha, aproximadamente el 59,6% se cultiva bajo invernadero (que se desglosa en: el 54,3% de flores permanentes y el 5,3% de transitorias) y el 40,4% en campo abierto (el 19,3% permanentes y 21,1% transitorias). Cabe señalar que el 71,8% de UPAs no tienen invernaderos, sin embargo el promedio es de 4,38 invernaderos por UPA.

2.1.3 Número de UPAs con cultivo de flores.

En el país existen 1923 Unidades de Producción Agropecuarias (UPAs) que se dedican al cultivo de flores, con el objetivo de comercializarlas tanto en el mercado nacional como internacional, de las cuales 525 UPAs (es decir el 27,3%) venden su

producción al exterior y obviamente también lo hacen al mercado nacional; el resto de UPAs, es decir 1398 (el 72,7%) comercializan su producción en el país.

Es necesario señalar que la asociación de exportadores de flores (EXPOFLORES) tiene un directorio aproximado de 420 floricultores (alrededor del 80% del total de 525 UPAs que producen para el mercado externo).

La importancia de estas 525 UPAs, que producen para la exportación, se demuestra con las siguientes cifras:

- Cubren el 88,5% de la superficie cultivada (desagregado en 65,1% de flores permanentes y 23,4% de flores transitorias).
- Comercializan el 99,1% de los tallos, que se desglosa en 92,4% para el comercio exterior y el 6,7% para el comercio interior (cubriendo evidentemente el 100% del comercio exterior y el 88,1% del interior).
- Cubren el 99,6% del mercado (venta en dólares), que se desagrega en 98,3% para el mercado internacional y 1,3% para el mercado nacional (conteniendo obviamente todo el mercado internacional y el 76,8% del mercado nacional).

Información que se resume y describe en la figura 2.4.

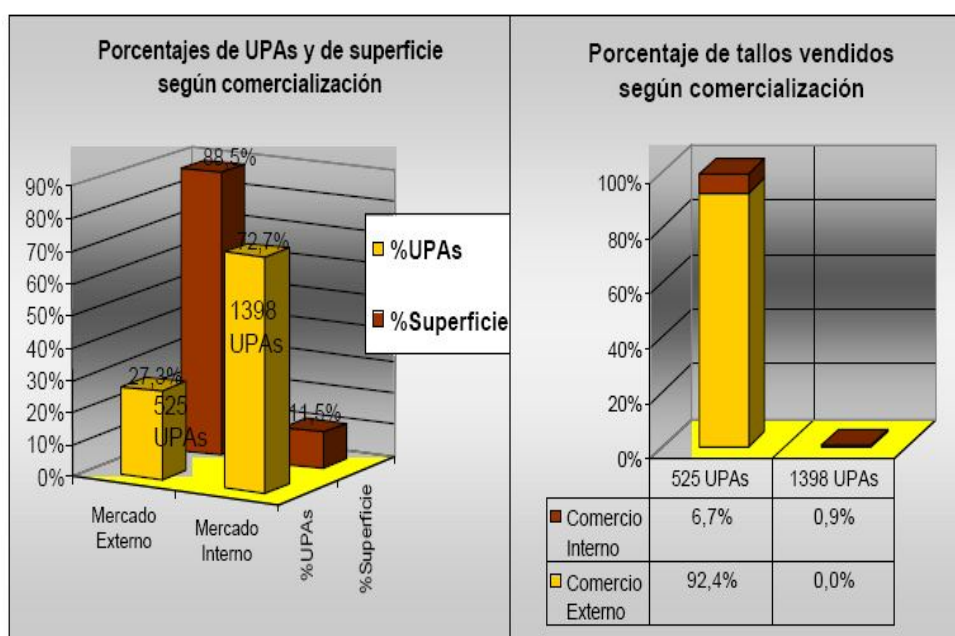


Figura 2.4: Porcentajes de UPAs.

Por tanto las 1398 UPAs que destinan su producción al mercado nacional cubren el 11,46% de la superficie sembrada y apenas representan cerca del 1% en la comercialización conjunta (interna y externa).

En cuanto a número de UPAs que cultivan flores sobresalen las Provincias de Tungurahua (con el 34%), Pichincha (el 28,1%), Azuay (19,8%) y Cotopaxi (11,2%). Es importante señalar que prácticamente todas las UPAs (el 99,2%) de Tungurahua venden su producción en el mercado nacional.

Si se consideran solamente las 525UPAs, cuya producción se destina al comercio exterior, la distribución provincial del numero de UPAs cambia notablemente: de este modo, se destacan las provincias de Pichincha (con el 67,2% de UPAs), Cotopaxi (con el 14,3%) y Azuay (el 8,8%), información que se resume en la figura 2.5.

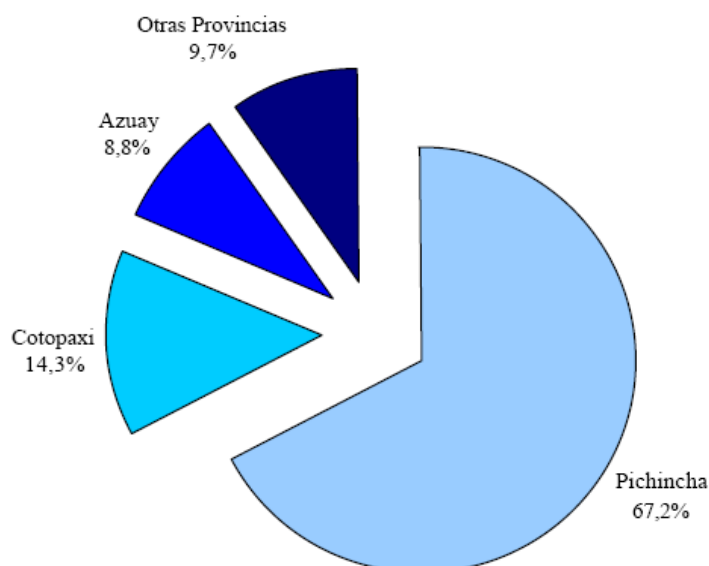


Figura 2.5: Distribución provincial de las UPAs que producen para exportar.

2.1.4 Producción (tallos cortados) y comercialización.

En cuanto a producción, en todo el país durante el año censal, se cortaron aproximadamente 2.158,6 millones de tallos; el promedio general de desperdicio es de cerca del 8% (son los tallos que se desechan). Por tanto cerca de dos (2) mil millones de tallos se comercializaron, de esta cantidad aproximadamente el 92,4% fue al mercado externo y el 7,6% al mercado interno; la figura 2.6. Representa el porcentaje provincial de los tallos comercializados, entre paréntesis se desglosa el porcentaje relativo a los dos mercados (internacional y nacional).

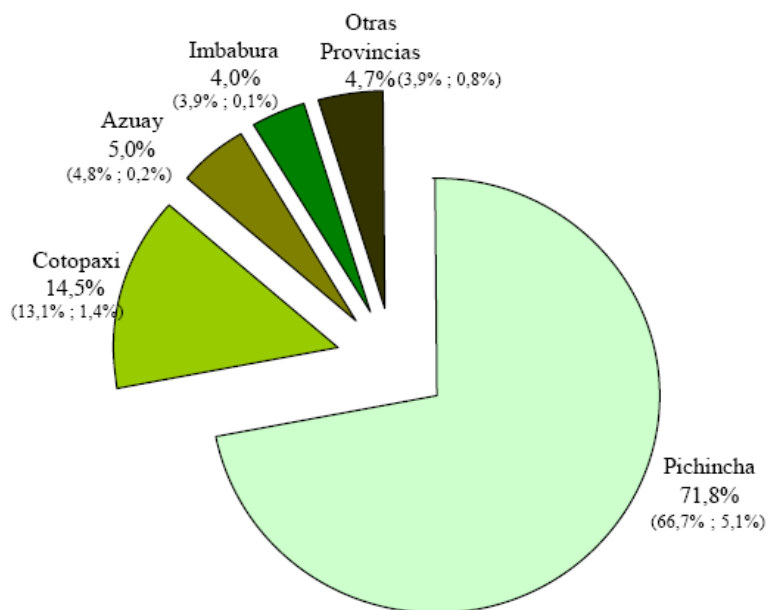


Figura 2.6: Porcentaje provincial de tallos comercializados.

2.1.5 Ventas en los mercados internacional y nacional.

El valor comercializado en dólares, es decir las ventas en el mercado exterior y nacional, alcanzan aproximadamente 315 millones de dólares, de los cuales el 98% corresponde al mercado externo, y el 2% al interno.

La contribución provincial en el mercado de flores (venta en dólares) se resume en la figura 2.7, se desglosa entre paréntesis el porcentaje considerando los dos mercados.

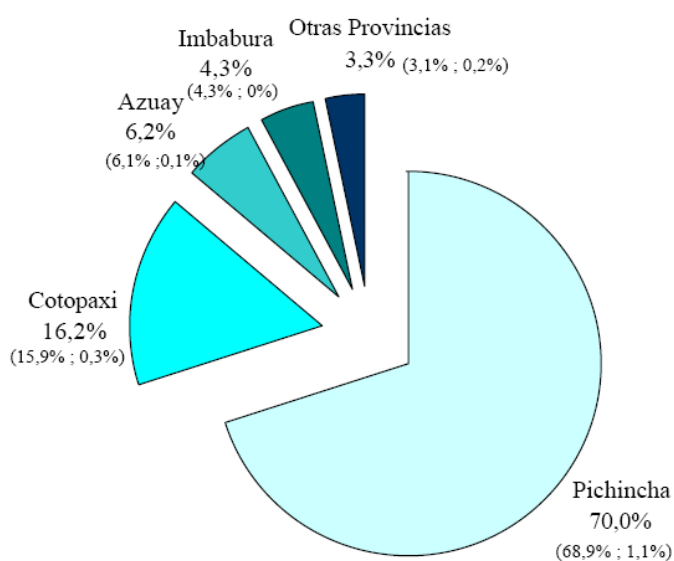


Figura 2.7: Contribución provincial de los mercados externo e interno
(Porcentaje de venta en dólares)

2.1.6 Las especies de flores cultivadas.

En el país se cultivan una gran diversidad de especies de flores, pero la más significativa es la Rosa, esta flor de carácter permanente cubre el 53,3% de la superficie sembrada, le sigue la Gypsophila, flor transitoria que abarca el 13,7%; del 33% restante, el 20,3% corresponden a flores permanentes, y el 12,7% a flores transitorias (o de ciclo corto); esta información se puede resumir en la figura 2.8:

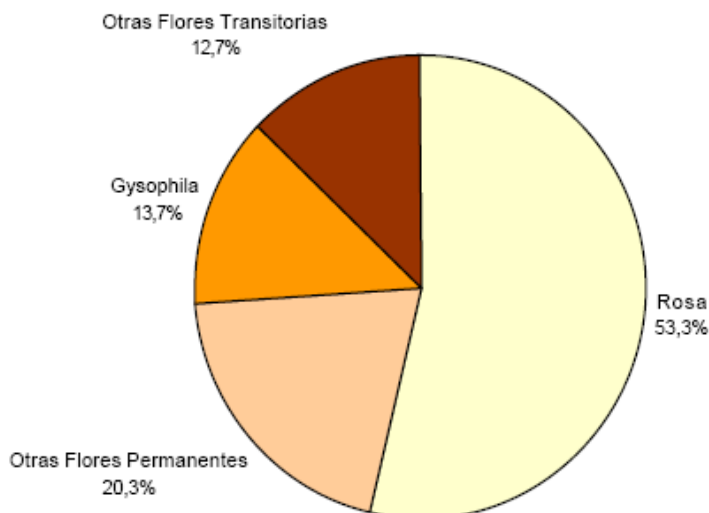


Figura 2.8: Porcentaje de superficie sembrada por especies principales.

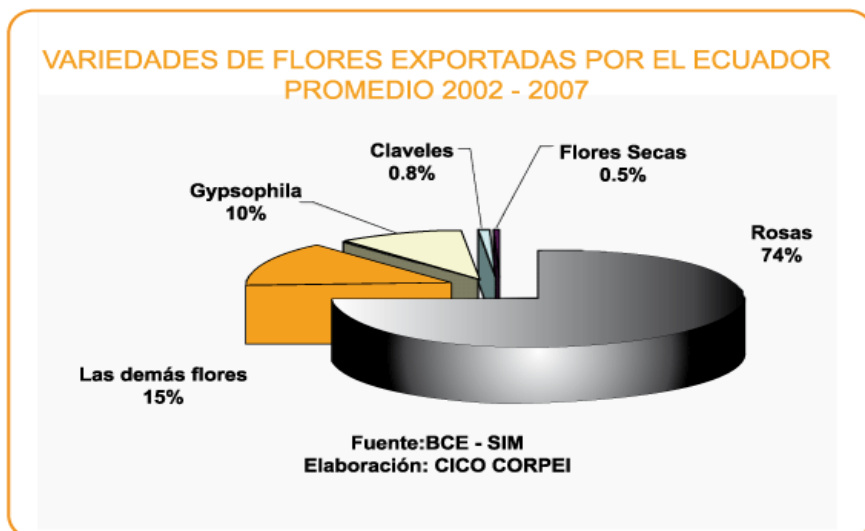


Figura 2.9: Variedades de flores exportadas por el Ecuador.

Sin embargo si se analizan todas las especies de flora investigadas en el Censo Nacional Agropecuario se tiene la siguiente distribución de la superficie sembrada por cada especie:

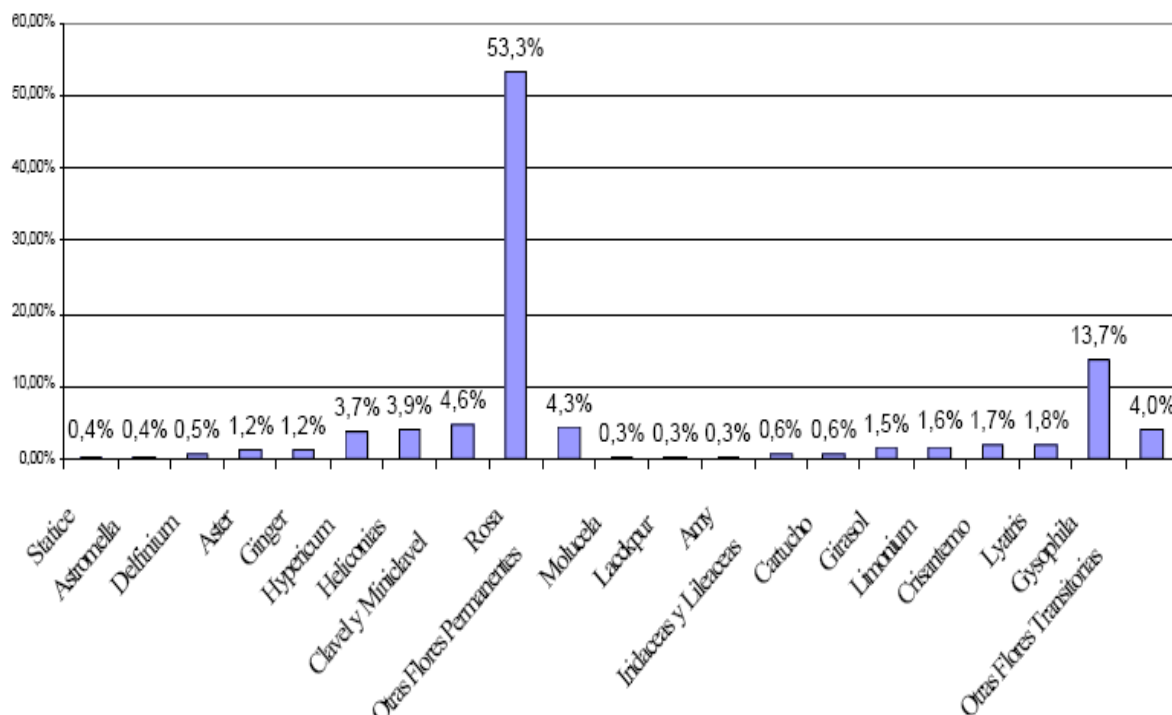


Figura 2.10: Distribución de la superficie sembrada por especie de flor.

En relación a los tallos comercializados (vendidos) las Rosas representan el 61,8% y las Gypsophilas el 11,6%; del 26,6% restante el 17,4% corresponden a tallos de flores permanentes y el 9,2% a flores transitorias.

2.1.7 Características de las UPAs y de los productores que cultivan flores.

Si se consideran las 525 UPAs que cultivan flores para exportación, que son las que representan más del 99% de la comercialización, se obtienen las siguientes características:

- La mayoría de personas productoras, el 86,7%, han cursado algún nivel de educación superior; y el 8,5% algún nivel de secundaria.
- La mayoría de UPAs, aproximadamente el 87%, tienen teléfono.
- La mayoría de personas productoras, el 83,4%, no residen en la UPA.
- La gran mayoría (el 93,1) de personas productoras son hombres.
- El 62,7% de las UPAs son sociedades legales, que agregado con el 32,7% de condición jurídica individual cubren la gran mayoría de UPAs (el 95,4%).

En cuanto a la relación de la Persona Productora con el tenedor de las tierras de la UPA, se tiene la siguiente distribución:

Dueño: 34,4%; Familiar: 5,2%; Socio: 20,1%; Empleado remunerado: 39,2%; y, Otra relación: 1,1%.

Información que se representa en la figura 2.11:

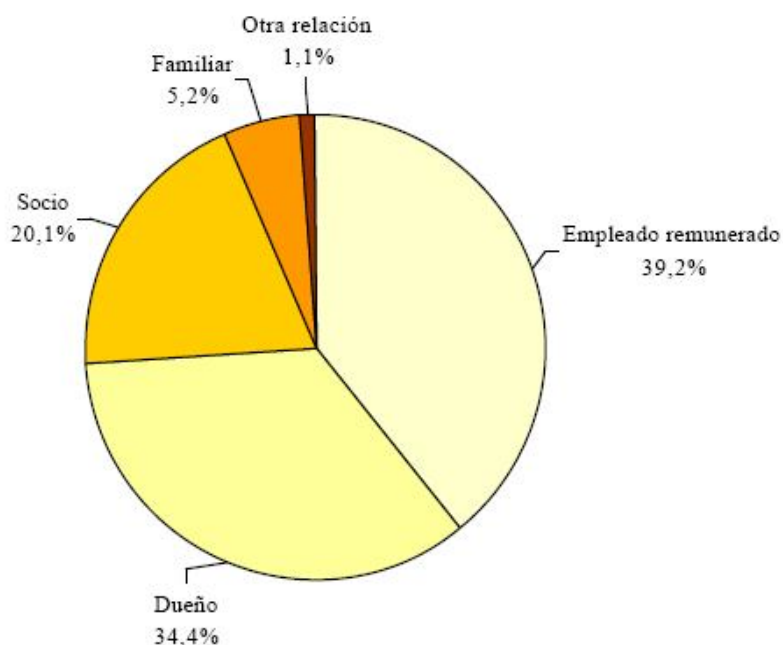


Figura 2.11: Relación de la persona productora con el tenedor de la UPA.

Además las 525 UPAs poseen en promedio:

8 hectáreas cultivadas de flores (5,9 con permanentes y 2,1 con transitorias).

2,1 administradores; 1,5 agrónomos; 2,1 otros profesionales; 0,3 tractoristas; 59,2 peones (de los cuales aproximadamente el 52% son mujeres y el 48% hombres) y 24,4 otros empleados, de forma permanente; y, 2,8 Jornaleros y 1,2 otros trabajadores, de manera ocasional.

Estos valores promedios bajan aproximadamente en un 70% (es decir por un factor de 0,3) al considerar todas las 1923 UPAs que cultivan flores.

Si comparamos estas características con las del resto de UPAs del país, se concluye que son muy diferentes en todos los aspectos que hemos analizado.

Cabe destacar algunas cualidades adicionales de las 525 UPAs que cultivan flores para comercializarlas al exterior:

- El 63% de ellas se dedican de manera exclusiva al cultivo de flores, es decir no cultivan ningún otro producto ni se dedican a la actividad pecuaria (crianza de ganado).
- El 86,5% de su producción la venden fuera de la UPA (que se desglosa en el 39,4% a intermediarios, el 37,8% a exportadores, el 8,3% al consumidor y el 1% a procesadores industriales) y el 13,5% venden en la UPA (que se desagrega en el 7,2% a intermediarios, el 5,1% a exportadores y el 1,2% a procesadores industriales).
- El 99,6% cuenta con energía eléctrica, en su gran mayoría (el 98,5%) su fuente principal de electricidad es la red pública.
- El 91,7% de los productores tiene como origen principal de sus ingresos las actividades agropecuarias, el 0,8% de la industria, el 1,5% del comercio, el 2% de la prestación de servicios y el 4% de otras actividades.
- El 41,1% no recibió ninguna asistencia técnica (en el año censal), el 31% la recibió de una persona natural, el 13,7% de casas comerciales, lo que se representa, con mayor detalle, en la figura 2.12.

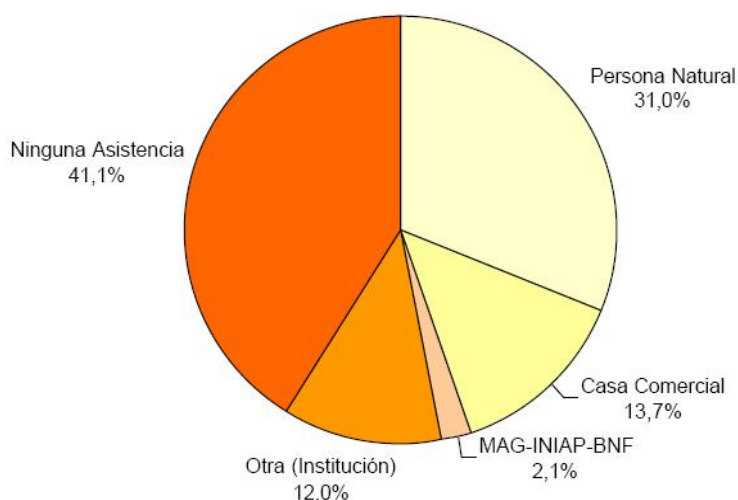


Figura 2.12: Fuente principal de la asistencia técnica.

- Cerca del 45% de los floricultores no pertenecen a ningún gremio, y en cuanto al servicio principal que reciben aquellos afiliados al gremio, el 55% restante es repartido principalmente en: 17,1% información, 17,1% representación, 9,3% comercialización de su producción, lo que se describe con mayor detalle en la figura 2.13.

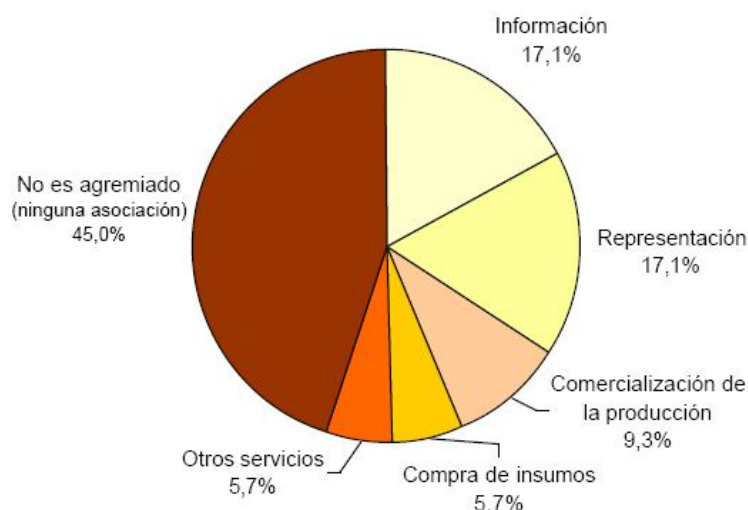


Figura 2.13: Servicio principal que recibe del gremio o asociación.

- En cuanto se refiere a la fuente de crédito y su destino, se verifica que el 46,5% financió parte de su actividad agrícola con algún crédito, la mayoría, el 87,8%, lo obtuvo de un banco privado, y como destino de este crédito predomina la producción de cultivos, con el 72,6%; le sigue la construcción de estructuras con el 13%; el 3,9% al sistema de riego; el 2,2% a maquinaria agrícola; el 0,5% a equipo de transporte, y el resto (7,8%) a otras finalidades agrícolas.
- Alrededor del 24% no tienen invernaderos, sin embargo el promedio es de 15 invernaderos por UPA. Considerando las tres cuartas partes que poseen invernaderos, el valor de la mediana del número de invernaderos es de 8,5; es decir el 50% de UPAs que tienen invernaderos cuentan con nueve invernaderos o más, con mayor precisión se tiene la siguiente tabla, en donde cada categoría tiene aproximadamente el 25% de estas 400 UPAs (que producen para mercado exterior y poseen invernaderos).

TABLA 2.2: Porcentaje de UPAs.

Categorías (por N° de invernaderos)	N° de UPAs	Porcentaje
Tienen de 1 a 3 invernaderos	98	24,6%
Tienen de 4 a 8 invernaderos	101	25,2%
Tienen de 9 a 15 invernaderos	101	25,2%
Tienen más de 15 invernaderos	100	25,0%

Finalmente, (de estas 525 UPAs que producen para la exportación), aproximadamente el 66% se cultiva bajo invernadero (que se desglosa en: el 60% de flores permanentes y el 6% de transitorias) y el 34% en campo abierto (el 13,6% permanentes y 20,4% transitorias).

2.2 Invernaderos. [2][3]

El cultivo bajo invernadero siempre ha permitido obtener producciones de primera calidad y mayores rendimientos, en cualquier momento del año además ha consentido alargar el ciclo de cultivo, dando la posibilidad de producir en las épocas del año más difíciles y logrando mejores precios. Este incremento del valor de los productos permite que el agricultor pueda invertir tecnológicamente en su explotación mejorando la estructura del invernadero, los sistemas de riego localizado, los sistemas de gestión del clima, etc., que se reflejan posteriormente en una mejora de los rendimientos y de la calidad del producto final.

2.2.1 Tipos de invernaderos. [2][4]

Puede intentarse una clasificación según diferentes criterios (por ej.: materiales para la construcción, tipo de material de cobertura característica, características de la techumbre, etc.), no obstante, se prefiere enumerar los más importantes obviando algunas características para su clasificación.

2.2.1.1 Invernadero Túnel.

Es difícil establecer una línea divisoria entre lo que es un invernadero y un macrotúnel, por no existir un parámetro definido. No obstante, se ha optado como medida de clasificación el volumen de aire encerrado por cada metro cuadrado de suelo. En general, de acuerdo a diferentes opiniones al respecto, podemos definir como invernadero aquella estructura que supera los $2.75\text{-}3\text{ m}^3/\text{m}^2$.

Se trata de invernaderos que tienen una altura y anchura variables.

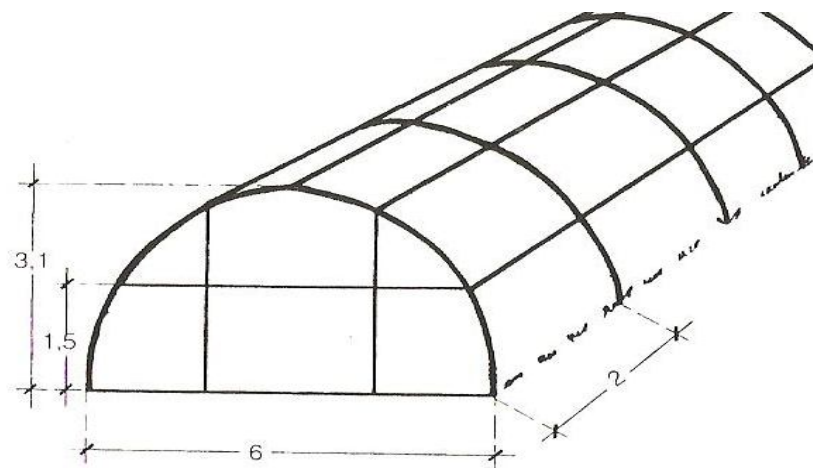


Figura 2.14: Invernadero tipo túnel.

Este tipo de estructura tiene algunas ventajas e inconvenientes.

Ventajas

- Alta resistencia a los vientos y fácil instalación (recomendable para productores que se inician en el cultivo protegido).
- Alta transmisión de la luz solar.
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.

Desventajas

- Relativamente pequeño, volumen de aire retenido (escasa inercia térmica) pudiendo ocurrir el fenómeno de inversión térmica.
- Solamente recomendado en cultivos de bajo a mediano porte (lechuga, flores, frutilla, etc.).

2.2.1.2 Invernadero Capilla.

Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado de cultivos, muy utilizados en nuestro país, fundamentalmente en la zona de La Plata. La pendiente del techo (cabio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre 15° y 35°). Las dimensiones del ancho varían entre 6 y 12m (incluso mayores), por un largo variable. Las alturas de los laterales varían entre 2,0-2,5m y la de cumbrera 3,0-3,5m (también se construyen más bajos que los señalados pero no son recomendables). La ventilación de estos invernaderos en unidades sueltas no ofrece dificultades, tornándose más dificultosa cuando varios de estos invernaderos se agrupan formando baterías.

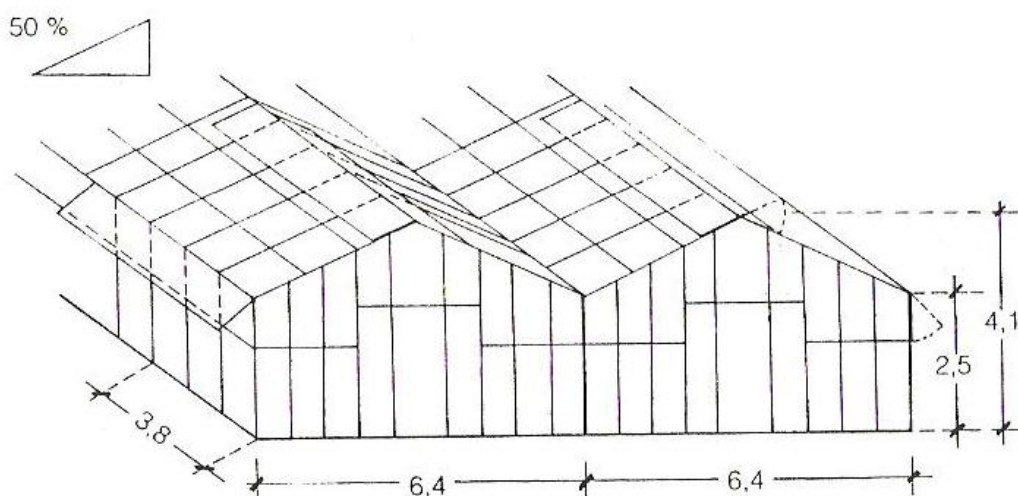


Figura 2.15: Invernadero tipo capilla.

Ventajas

- Construcción de mediana a baja complejidad.
- Utilización de materiales con bajo costo, según la zona (postes y maderos de eucalipto, pinos etc.).
- Apto tanto para materiales de cobertura flexibles como rígidos.

Desventajas

- Problemas de ventilación con invernaderos en baterías.
- A igual altura cenital, tiene menor volumen encerrado que los invernaderos curvos.
- Mayor número de elementos que disminuyen la transmisión (mayor sombreo).
- Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivo.

2.2.1.3 Invernaderos en dientes de sierra.

Una variación de los invernaderos capilla, que se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación, fueron los invernaderos a una vertiente. Estos invernaderos contaban con una techumbre única inclinada en ángulos que variaban entre 5° y 15° (orientados en sentido este-oeste y con presentación del techo hacia la posición del sol -norte para el hemisferio sur-). El acoplamiento lateral de este tipo de invernaderos hizo que fueran conocidos como dientes de sierra. La necesidad de evacuar el agua de precipitación, determinó una inclinación en las zonas de recogida desde la mitad hacia ambos extremos.

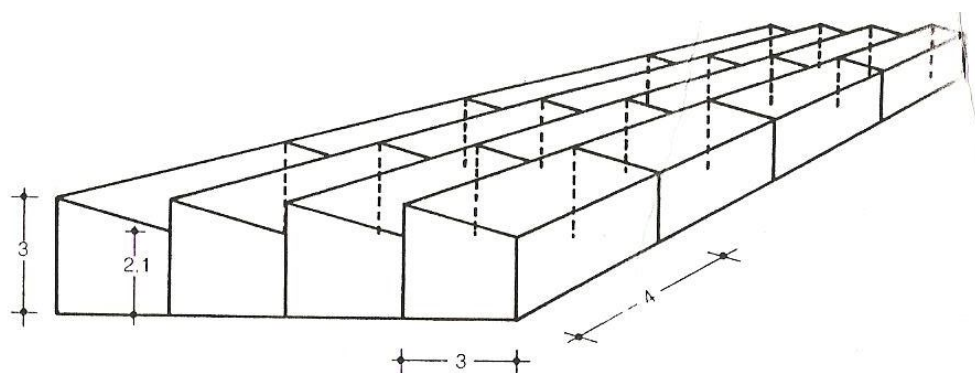


Figura 2.16: Invernadero tipo diente de sierra.

Ventajas

- Construcción de mediana complejidad.

- Excelente ventilación (lo que no plantea las limitantes del tipo capilla, en cuanto a la conformación de baterías).
- Empleo de materiales de bajo costo (según zonas).

Desventajas

- Sombreo mucho mayor que capilla (debido a mayor número de elementos estructurales de sostén).
- Menor volumen de aire encerrado (para igual altura de cenit) que el tipo capilla.

2.2.1.4 Invernaderos tipo capilla modificado (Chileno).

Se trata de una variante de los tipo capilla (muy utilizados en la V región de Chile y promovidos por el programa Hortalizas del INIA). La modificación respecto a la capilla, consiste en el ensamble a diferentes alturas de cada cambio, lo que permite generar un espacio para una ventana cenital (lucarna). Las dimensiones más comunes de estos invernaderos son:

- Ancho de cada módulo: 6,0 m
- Altura lateral: 2,4 m
- Altura cenital: 3,6 m
- Abertura cenital: 0,3-0,5 m

Los postes se plantan cada 2,0 m, tanto en el lateral como en la parte central, utilizándose postes sulfatados o bien, impregnados con brea al menos en los 0,40-0,60 m que van enterrados.

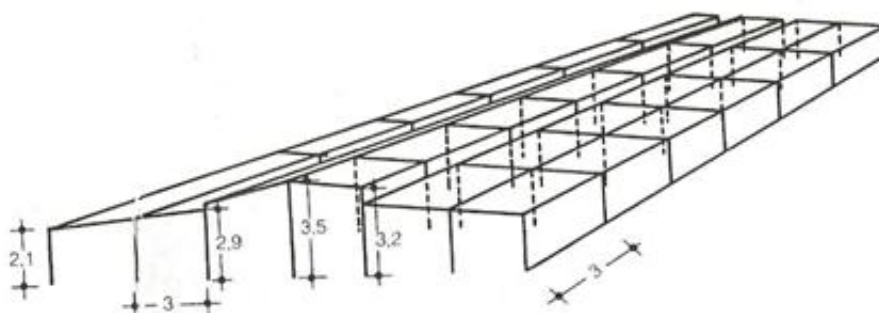


Figura 2.17: Invernadero tipo doble capilla.

Ventajas

- Construcción de mediana complejidad.

- Excelente ventilación (al igual que el diente de sierra), siendo muy adecuados para la conformación de baterías.
- Empleo de materiales de bajo costo.

Desventajas

- Sombreo mayor que capilla (debido a mayor número de elementos estructurales de sostén), pero menor que diente de sierra.
- A igual altura cenital, tiene menor volumen de aire encerrado que los invernaderos curvos.
- Elementos de soportes internos que dificultan los desplazamientos y el emplazamiento de cultivos.

2.2.1.5 Invernaderos con techumbre curva.

Este tipo de invernaderos tienen su origen en los invernaderos-túneles. Por lo común son de tipo metálicos (caños de 2" a 2,5" de diámetro o bien perfiles triangulares con hierro redondo trefilado de 8-10 mm de diámetro), también los hay con techumbres metálicas y postes de madera. Dentro de este tipo de invernaderos, pueden encontrarse diferentes alternativas según la forma que adopta el techo (i - e - circulares - semielípticos - medio punto - ojivales etc.). Las dimensiones más comunes de estos invernaderos van de 6,0-8,0 m de ancho por un largo variable.

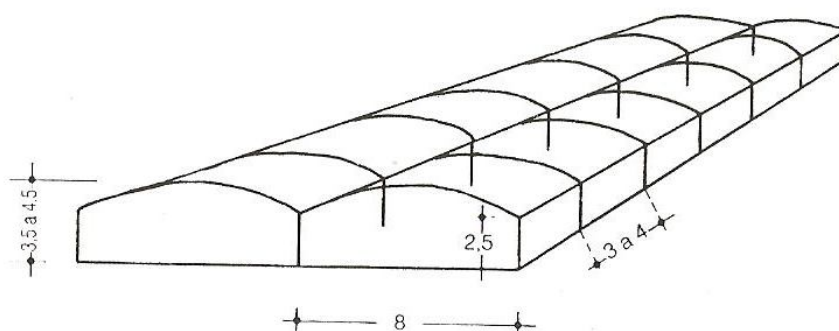


Figura 2.18: Invernadero tipo techumbre curva.

Ventajas

- Junto con los invernaderos tipo túnel, es el de más alta transmitancia a la luz solar.
- Buen volumen interior de aire (alta inercia térmica).
- Buena resistencia frente a los vientos.

- Espacio interior totalmente libre (facilidad de desplazamiento, laboreo mecanizado, conducción de cultivos, etc.).
- Construcción de mediana a baja complejidad (debido a la disponibilidad de los elementos prefabricados).

Desventaja

- Tienen la misma limitante que los tipos capilla, cuando deben acoplarse en batería (es decir no poseer ningún sistema de ventilación cenital).
- La limitante ya señalada, plantea la necesidad de no superar los 25-30 m (de invernaderos acoplados), debido a las dificultades para ventilación.

2.2.1.6 Invernadero tipo parral (almeriense).²

Son invernaderos originados en la provincia de Almería (España), de palos y alambres, denominados parral por ser una versión modificada de las estructuras o tendidos de alambre empleados en los parrales para uva de mesa.

Actualmente existe una versión moderna de los originales, que se construyen con caños galvanizados como sostenes interiores, permaneciendo el uso de postes para los laterales de tensión o aún, siendo reemplazados también éstos por muertos enterrados, para sujeción de los vientos, constituidos por un doble alambre del 8.

Estos invernaderos suelen tener una altura en la cumbrera de 3,0-3,5 m, una anchura variable, pudiendo oscilar en 20 m o más, por un largo variable.

La pendiente es casi inexistente, o bien (en zonas con pluviometría de riesgo) suele darse 10° -15°, lo que representa altura de los laterales del orden de 2,0-2,3 m.

Se ventila solamente a través de las aberturas laterales. En la techumbre solo se utiliza un doble entramado de alambre, atravesado por una lámina de polietileno, sino otra sujeción.

² SERRANO CERMEÑO, Zoilo. *Invernaderos instalación y manejo*. 2da. Edición. Madrid: 1983. Pág.: 74

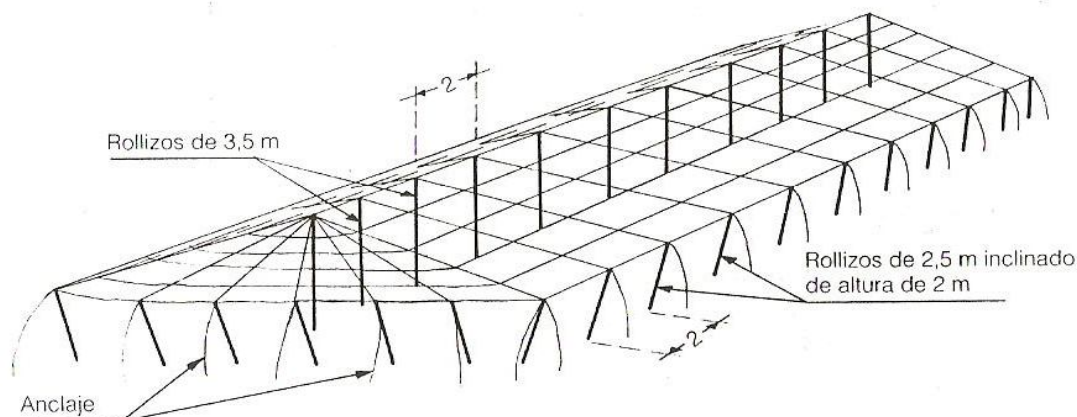


Figura 2.19: Invernadero tipo parral.

Ventajas

- Gran volumen de aire encerrado (buen comportamiento según la inercia térmica).
- Despreciable incidencia de los elementos de techumbre en la intercepción de la luz.
- Aún tratándose de una estructura que ofrece alta resistencia a los vientos, es poco vulnerable debido a un eficiente sistema de anclaje

Desventajas

- Deficiente ventilación.
- Alto riesgo de rotura por precipitaciones intensas (escasa capacidad de drenaje).
- Construcción de alta complejidad (requiere personal especializado).
- En zonas de baja radiación, la escasa pendiente del techo representa una baja captación de la luz solar.

2.2.1.7 Invernadero tipo venlo (“Holandés”).

Son invernaderos de vidrio, los paneles descansan sobre los canales de recogida del agua pluvial. La anchura de cada módulo es de 3,2 m y la separación entre postes en el sentido longitudinal es de 3 m. Estos invernaderos carecen de ventanas laterales (puede ser debido a que en Holanda no existen demasiadas exigencias en cuanto a ventilación). En su lugar, tiene ventanas cenitales, (cuyas aperturas están alternadas: unas a un lado y otras al opuesto) cuyas dimensiones son de 1,5 m de largo por 0,8 m de ancho.

Ventajas

- Es el mejor comportamiento térmico (debido al tipo de material utilizado: vidrio y materiales rígidos).
- Alto grado de control de las condiciones ambientales.

Desventajas

- Alto costo.
- La transmisión se ve afectada, no por el material de cobertura, sino por el importante número de elementos de sostén (debido al peso del material de cubierta).
- Al tratarse de un material rígido, con duración de varios años, resulta afectado por la transmisibilidad de polvo, algas, etc.

2.3 Sistemas de climatización. [4]

La diversificación productiva, tan necesaria en los tiempos actuales, nos indica la necesidad de mejorar nuestros sistemas de producción de hortalizas y flores. Un invernadero es una herramienta muy útil para producirlas fuera de temporada, conseguir mayor precocidad, aumentar los rendimientos, acortar los ciclos vegetativos de las plantas, mejorar la calidad de los cultivos mediante una atmósfera interior artificial y controlada.

Sus beneficios han masificado su uso en la agricultura porque permiten obtener una producción limpia, trabajar en su interior durante los días lluviosos, desarrollar cultivos que necesitan otras condiciones climáticas y evitar los daños de roedores, pájaros, lluvia o el viento. También produce una economía en el riego por la menor evapotranspiración, que es la pérdida de agua por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas, al estar protegidas del viento.

Su construcción es simple. Basta una estructura de soporte de madera o metal y una cubierta que puede ser polietileno transparente, policarbonato o vidrios, que lo cubrirá por los cuatro costados y el techo. Así retiene y mantiene en su interior una buena parte de la temperatura que se produce por el calor del sol o por estufas.

2.3.1 Parámetros a considerar en el control climático. [5][6]

El desarrollo de los cultivos, en sus diferentes fases de crecimiento, está condicionado por cuatro factores ambientales o climáticos: temperatura, humedad relativa, luz y CO₂. Para que las plantas puedan realizar sus funciones es necesaria la

conjunción de estos factores dentro de unos límites mínimos y máximos, fuera de los cuales las plantas cesan su metabolismo, pudiendo perderse la producción.

2.3.1.1 Temperatura.

Este es el parámetro más importante a tener en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Normalmente la temperatura óptima para las plantas se encuentra entre los 10 y 20°C.

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo, se deben aclarar los siguientes conceptos que se exponen a continuación y relativos a las temperaturas, que indican los valores. Un objetivo a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

- Temperatura mínima letal. Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas. Indican valores, por encima o por debajo respectivamente del cual, no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperaturas nocturnas y diurnas. Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

La temperatura en el interior del invernadero, va a estar en función de la radiación solar, comprendida en una banda entre 200 y 4000 nm, la misión principal del invernadero será la de acumular el calor durante las épocas invernales.

El calentamiento del invernadero se produce cuando el infrarrojo largo, procedente de la radiación que pasa a través del material de cubierta, se transforma en calor. Esta radiación es absorbida por las plantas, los materiales de la estructura y el suelo. Como consecuencia de esta absorción, éstos emiten radiación de longitud más larga que tras pasar por el obstáculo que representa la cubierta, se emite radiación hacia el exterior y hacia el interior, calentando el invernadero.

El calor se transmite en el interior del invernadero por irradiación, conducción, infiltración y por convección, tanto calentando como enfriando. La conducción es producida por el movimiento de calor a través de los materiales de cubierta del

invernadero. La convección tiene lugar por el movimiento del calor procedente de las plantas, el suelo y la estructura del invernadero. La infiltración se debe al intercambio de calor del interior del invernadero y el aire frío del exterior a través de las juntas de la estructura. La radiación, por el movimiento del calor a través del espacio transparente.

2.3.1.2 Humedad relativa.

La humedad es la masa de agua en unidad de volumen, o en unidad de masa de aire. La humedad relativa (HR) es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener el aire la misma temperatura.

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en HR aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: al tomate, al pimiento y a la berenjena les gusta una HR sobre el 50-60%; al melón, entre el 60-70%; al calabacín, entre el 65-80% y al pepino entre el 70-90%.

La HR del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento, se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse, además de los comunes problemas de mal cuaje.

Para que la HR se encuentre lo más cerca posible del óptimo el agricultor debe ayudarse del higrómetro. Su exceso puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. Mientras que su escasez, puede corregirse con riegos, llenando canalillas o balsetas de agua, pulverizando agua en el ambiente que esté ventilado y sombreado. La ventilación cenital en invernaderos con anchura superior a 40 m es muy recomendable, tanto para el control de la temperatura como de la HR.

2.3.1.3 Iluminación.

A mayor luminosidad en el interior del invernadero se debe aumentar la temperatura, la HR y el CO₂, para que la fotosíntesis sea máxima; por el contrario, si

hay poca luz pueden descender las necesidades de otros factores. Para mejorar la luminosidad natural se usan los siguientes medios:

- Materiales de cubierta con buena transparencia.
- Orientación adecuada del invernadero.
- Materiales que reduzcan al mínimo las sombras interiores.
- Aumento del ángulo de incidencia de las radiaciones sobre las cubiertas.
- Acolchados del suelo con plástico blanco.

En verano para reducir la luminosidad se emplean:

- Blanqueo de cubiertas.
- Mallas de sombreo.
- Acolchados de plástico negro.

Es interesante destacar el uso del blanqueo ya que esta aplicación está en función del desarrollo del cultivo y de las temperaturas, y que tiene contradicciones que hay que conocer para hacer un correcto uso de tal procedimiento. Hay que saber que la planta sombreada se ahila y se producen abortos de flores en determinadas especies sensibles a la luz (especialmente tomate, pimiento y berenjena), por lo que el manejo del riego y de la solución nutritiva tiene que ir unida al efecto que produce el blanqueo. Los plásticos sucios o envejecidos provocan el mismo efecto que el blanqueo.

Tabla 2.3: INFLUENCIA DE LA LUZ EN LA FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS.

Clase de Luz	Fisiología	Germinación	Crecimiento	Tamaño	Fotosíntesis	Enraizamiento
Ultra	Lejano	X	X	X		X
		Efecto restrictivo				
bleVisi	Violeta					
	Azul oscuro	O	B	O	O	O
	Azul					
	Verde	R	R	R	B	R
	Amarillo					
	Anaranjado	O	O	B	O	B
	Rojo					
Infrarrojo	Próximo	Necesario para calentar				
		Necesario para conservar el calor				
X = malo		O = óptimo	B = bueno	R = regular		

2.3.1.4 CO₂.

El anhídrido carbónico de la atmósfera es la materia prima imprescindible de la función clorofílica de las plantas. El enriquecimiento de la atmósfera del invernadero con CO₂, es muy interesante en muchos cultivos, tanto en hortalizas como en flores.

La concentración normal de CO₂ en la atmósfera es del 0,03%. Este índice debe aumentarse a límites de 0,1-0,2%, cuando los demás factores de la producción vegetal sean óptimos, si se desea el aprovechamiento al máximo de la actividad fotosintética de las plantas. Las concentraciones superiores al 0,3% resultan tóxicas para los cultivos.

En los invernaderos que no se aplique el anhídrido carbónico, la concentración de este gas es muy variable a lo largo del día. Alcanza el máximo de la concentración al final de la noche y el mínimo a las horas de máxima luz que coinciden con el mediodía. En un invernadero cerrado por la noche, antes de que se inicie la ventilación por la mañana, la concentración de CO₂ puede alcanzar límites mínimos de 0,005-0,01%, índice que no puede ser procesado por los vegetales y que anula la fotosíntesis.

En el caso que el invernadero esté cerrado durante todo el día, en épocas demasiado frías, esa concentración mínima sigue disminuyendo y los vegetales se encuentran en situación de extrema necesidad en CO₂ para poder realizar la fotosíntesis.

Los niveles aconsejados de CO₂ dependen de la especie o variedad cultivada, de la radiación solar, de la ventilación, de la temperatura y de la humedad. La asimilación óptima está entre los 18 y 23° C de temperatura, descendiendo por encima de los 23-24° C. Respecto a la luminosidad y humedad, cada especie vegetal tiene un índice óptimo distinto. El efecto que produce la fertilización con CO₂ sobre los cultivos hortícolas, es el de aumento de la precocidad de aproximadamente un 20% y la de un aumento de los rendimientos en un 25-30%, además de la mejora de la calidad del cultivo así como la de su cosecha.

Sin embargo, no se puede hablar de una buena actividad fotosintética sin una óptima luminosidad. La luz es factor limitante, y así, la tasa de absorción de CO₂ es proporcional a la cantidad de luz recibida, además de depender también de la propia concentración de CO₂ disponible en la atmósfera de la planta. Se puede decir que el

periodo más importante para el enriquecimiento carbónico es el mediodía, ya que es la parte del día en la que se dan las máximas condiciones de luminosidad.

2.3.2 Climatología de la zona y factores ambientales. [2]

La meteorología general nos proporciona parámetros como temperatura, nubosidad, punto de rocío, velocidad y dirección del viento a distintos niveles; los parámetros habituales son: a nivel del mar 1013mbar y en altura 500mbar. Debido a que el aire cambia su densidad con la temperatura, ya que el aire no tiene una composición constante y a otros fenómenos, la presión en un mismo lugar cambia y constituye un parámetro físico importante para la predicción meteorológica.

Una situación meteorológica con presiones bajas será favorable para la lluvia, mientras que las altas presiones suelen aportar estabilidad. Consideramos necesario recordar que la presión es uno de los factores favorables, pero que se requieren otros para estar en situación de lluvia.

En cualquier caso al recibir información sobre la situación meteorológica o la previsión por la prensa, radio o televisión debemos entenderlo como una situación general en el país o en la comarca que afectará a la situación concreta de nuestra finca, parcela o invernadero, pero que en puntos próximos separados menos de 10km, pueden darse condiciones meteorológicas muy diferentes.

A los estudios de los parámetros anteriores reducidos a una zona poca extensa donde esté ubicado nuestro cultivo, habitualmente se les denomina *climatología* o *microclima de la zona*.

2.3.3 Ubicación del invernadero. [2][3]

Teniendo en cuenta los conceptos anteriormente descritos será necesario obtener datos meteorológicos de la zona de los 10 últimos años relativos a:

- Temperatura máxima mensual.
- Temperatura mínima mensual.
- Temperatura media de las máximas.
- Temperatura media de las mínimas.
- Número de horas de insolación mensual.
- Velocidad máxima mensual del viento, incluidas rachas.
- Pluviometría mensual, incluida nieve.

- Espesor máximo anual que alcanzó la nieve.
- Dirección de los vientos dominantes en la zona.
- Latitud de nuestra zona.

A la vista de estos datos se puede decidir sobre la viabilidad de nuestro invernadero y hacer previsiones de costos energéticos.

Ubicación física. El invernadero debe situarse en un terreno plano o aplanarlo haciendo una terraza si se trata de una ladera, dejando una ligera pendiente en el cerramiento para el vertido de las aguas.

El invernadero debe presentar la máxima sección eficaz a la radiación solar, para lo que debe orientarse el eje mayor de la estructura en la dirección de los vientos dominantes. Debido a ello, en nuestra zona tendrá que presentar la mínima sección eficaz al viento, debiendo evitarse la colocación de puertas y ventanas en esa dirección y en caso de no ser posible sería conveniente disponer un contravientos protegiendo las puertas.

2.3.4 Efecto invernadero. [3]

Es una de las condiciones más importantes que debe reunir todo invernadero, cuanto mayor sea éste, menores serán las pérdidas de calor y más protegidas estarán las plantas de las bajas temperaturas.

El aire del invernadero debe calentarse con rapidez, para conseguir en el día el mayor número de horas con temperaturas óptimas para los cultivos. El material de cobertura no debe dejar escapar el calor acumulado en el interior, y sobre todo, su resistencia a enfriarse debe ser mayor a medida que la temperatura descienda.

El efecto invernadero es importante en los invernaderos de plástico, ya que este material se adapta fácilmente a la estructura y al perfil del invernadero.

De acuerdo con la ubicación del invernadero y el material de la cubierta, la cantidad de luz que pasa al interior del invernadero varía entre el 60% y 90%; conjugando estos dos aspectos con el aumento de la temperatura.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE CLIMATIZACIÓN Y SELECCIÓN DE AQUELLA QUE SEA LA MÁS ADECUADA

3.1 Sistemas de calefacción. [4][5][6][7]

Existen distintos sistemas para calentar y mantener la temperatura en el interior de un invernadero, como son:

- Empleo adecuado de los materiales de cubierta.
- Hermetismo del invernadero, evitando pérdidas de calor.
- Empleo de pantallas térmicas, cuyo uso permite mantener el calor entre 2 y 4º C más en el interior del invernadero, con el consiguiente ahorro de energía. Dichas pantallas están justificadas en el caso de utilización de sistemas de calefacción.
- Condensación que evita la pérdida de radiación de longitud de onda larga, aunque tiene el inconveniente del goteo sobre la planta.
- Capas dobles de polietileno de 150 galgas o de polipropileno, que se pueden emplear como pantalla térmica, para evitar las condensaciones sobre cubierta, con el inconveniente de pérdida de luminosidad en el interior. Se emplea mucho en invernaderos sin calefacción.
- Invernaderos más voluminosos que permiten mayor captación de la luz y al mismo tiempo mayor pérdida de calor por conducción. La mayor inercia térmica de volúmenes grandes, permite un mejor control del clima.
- Propio follaje de las plantas, ya que almacenan radiación.
- Sistemas de calefacción por agua caliente o por aire caliente.

El calor cedido por la calefacción puede ser aportado al invernadero básicamente por convección o por conducción. Por convección al calentar el aire del invernadero y por conducción se localiza la distribución del calor a nivel del cultivo.

Los diferentes sistemas de calefacción aérea o de convección más utilizados se pueden clasificar en:

- Tuberías aéreas de agua caliente.
- Aerotermos.
- Generadores de aire caliente.

- Generadores y distribución del aire en mangas de polietileno.

Los sistemas de distribución de calor por conducción se basan en tuberías de agua caliente, las diferencias entre ellos se encuentran en la temperatura del agua y en su localización:

- Suelo a nivel de cultivo.
- Tuberías enterradas.
- Banquetas.

Debido a que este trabajo de tesis desarrolla los sistemas de calefacción, es necesario estudiar los sistemas más comunes para poder elegir el que nos brinde mayores rentabilidades desde el punto de vista técnico y económico.

3.1.1 Alternativas de Calefacción.

Las tres alternativas que se han de analizar en este trabajo son:

- Por Gases combustión
- Por Resistencias eléctricas
- Por Tuberías enterradas

3.1.1.1 Calefacción por gases de combustión.

En este caso se emplea aire precalentado para elevar la temperatura de los invernaderos. La calefacción por gases de combustión consiste en quemar un combustible (sólido, líquido o gaseoso), cuyos gases calentarán el aire mediante un intercambiador de calor.

Durante la combustión de los cuerpos, el desprendimiento de calor se realiza de forma diferente de acuerdo con las características físicas y químicas del cuerpo en cuestión. Una magnitud que permite caracterizar cuantitativamente el desprendimiento de calor de los cuerpos durante la combustión, es el denominado ***calor específico de combustión***.

El calor específico de combustión generalmente se relaciona con los materiales considerados como combustibles tradicionales (petróleo, carbón, alcohol, leña, etc.),

pero también puede ser asociado a combustibles alternativos; por lo que es importante conocer las potencialidades combustibles de los diferentes materiales que no se emplean con frecuencia en la combustión, mediante el conocimiento de sus calores específicos de combustión.

Para poder apreciar con más claridad las potencialidades combustibles de los materiales que se emplean en la combustión para lograr el desprendimiento de energía térmica, es importante comenzar por analizar los valores de los calores específicos de combustión de dichos materiales

Tabla comparativa con los calores específicos de combustión de los diversos materiales que pueden ser empleados como combustibles en procesos térmicos, donde sea necesario liberar energía en forma de calor.

Tabla 3.1: VALORES ESPECÍFICOS DE COMBUSTIÓN DE DIVERSOS MATERIALES.

Material combustible	Calor específico de combustión(MJ/kg)
Hidrógeno	142
Gas metano	55
Gasolina	47
Petróleo crudo	47
Diesel	46
Carbón bituminoso	36
Antracita	35
Coque	34
Alcohol etílico	30
Carbón vegetal	30
Alcohol metílico	22
Madera de pino	21
Cascarón de coco	20
Turba seca	20
Leña seca	18
Turba húmeda	16
Aserrín seco	15
Cáscara de arroz	15
Lignito	13
Bagazo de caña seco	9
Leña verde	9
Planta de maíz seca	9
Aserrín húmedo	8

De la Tabla 3.1 se toman los siguientes combustibles, para su análisis:

- Leña Seca.
- Diesel.
- GLP (Gas Licuado de Petróleo).

Leña seca.

Esta sería una muy buena opción para este caso, siempre y cuando su potencial calorífico fuera mayor, otra alternativa sería quemar los residuos de la florícola (tallos de las rosas cortadas), pero se presenta el inconveniente de que para utilizar este producto necesitamos un deshidratador, secador y picador del mismo, lo que representa mayor tiempo de preparación y mayor costo.

Ventajas

- No tiene costo, por ser residuo de la florícola.
- No necesita transporte, por encontrarse dentro la florícola.

Desventajas

- Su calor específico de combustión es bajo.
- Elevado costo de preparación del combustible.
- Su utilización como abono, es mejor que como combustible.

Diesel.

El uso del diesel sería recomendable, pero sus factores de utilización implican un proceso costoso como transporte, almacenamiento y suministro hacia el quemador.

Ventajas

- Su calor específico de combustión es bueno.
- En comparación al quemar residuos, su inflamación es más rápida.

Desventajas

- Elevado costo de transportación, almacenamiento y suministro del combustible.
- Dificultad de adquisición.
- Produce contaminación ambiental.

GLP. (Gas Licuado de Petróleo)

El gas licuado de petróleo, debido a su elevado poder calorífico, su fácil adquisición y su almacenamiento, representa la mejor alternativa para el sistema de calefacción a implementarse

Ventajas

- Su calor específico de combustión es muy bueno, y superior a los anteriores.
- Su forma de almacenamiento es sencilla porque viene en bombonas.
- Es de fácil inflamación.
- Es de fácil adquisición.
- Produce menor contaminación que el Diesel.

Desventajas

- El costo inicial del sistema es elevado.

Selección del combustible más adecuado para la combustión.

Según el análisis antes realizado con las tres alternativas más usadas para este sistema, se ha llegado a la conclusión de que el GLP tiene mayor número de ventajas que las otras opciones, y por esta razón ha sido seleccionada como la alternativa para ser usada en el sistema de calefacción que propone este estudio.

• **Ecuación de estado.[11][12]**

Se han desarrollado leyes empíricas que relacionan las variables macroscópicas. En los gases ideales, estas variables incluyen la presión (p), el volumen (V) y la temperatura (T). La ley de Boyle-Mariotte afirma que el volumen de un gas a temperatura constante es inversamente proporcional a la presión. La ley de Charles y Gay-Lussac afirma que el volumen de un gas a presión constante es directamente proporcional a la temperatura absoluta. La combinación de estas dos leyes proporciona la ley de los gases ideales:

$$p.V = m.R.T \quad (3.1)$$

Esta ecuación recibe el nombre de ecuación de estado de los gases ideales o perfectos porque conocidas dos de las tres variables, se puede determinar la tercera. No obstante, esta ecuación es una buena aproximación para todos los gases reales a

baja presión. La constante R , es una constante universal cuyo descubrimiento fue una piedra angular de la ciencia moderna.

Presión atmosférica. [12]

La temperatura y la presión barométrica de aire atmosférico varían considerablemente con la altitud, el lugar geográfico y las condiciones del tiempo. La atmósfera a nivel del mar da una norma de la referencia por estimar las propiedades a las varias altitudes. Al nivel del mar, la temperatura normal es 15°C, la presión barométrica normal es 101.325 kPa.

La presión para las diferentes altitudes puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$p = 101.325(1 - 2.25577 \times 10^{-5} Z)^{5.2559} \quad (3.2)$$

Donde:

p : Presión barométrica. [KPa].

Z : Altitud. [m].

La presión atmosférica en la ciudad de Riobamba, si se conoce que se encuentra a 2754 msnm será:

$$p = 101,325(1 - 2,25577 \times 10^{-5} * 2754)^{5,2559}$$

$$p = 72,3296 \text{ kPa}$$

Cabe recalcar que la presión obtenida es un valor referencial, ya que la presión también depende de otros factores tal como la temperatura del ambiente, para los cálculos que se realizaran se utilizara este valor de presión.

- **Calor y temperatura.[11][12]**

El calor es una forma de energía, y la cantidad de calor que ha adquirido un cuerpo se puede evaluar, siempre que no existan cambios de estado físico, mediante la expresión:

$$Q = m * c * \Delta t \quad (3.3)$$

Donde:

Q = incremento de calor

m = masa del cuerpo

c = calor específico

Δt = incremento de temperatura

El incremento de calor se expresa habitualmente en calorías, pero puede expresarse también en julios o en cualquier unidad de energía.

1 caloría = 4,18 julios

1 julio = 0,24 calorías

El calor específico, se define como la cantidad de calor que es necesario aportar a 1 g de sustancia considerada para elevar su temperatura 1°C. Por ello se toma un valor distinto para cada sustancia.

La temperatura es la magnitud física que permite decidir en el caso de colocar dos cuerpos en contacto cuál de ellos cede calor al otro, siendo el de mayor temperatura quien cede calor al de menor temperatura.

La temperatura se puede expresar en:

$^{\circ}K$, $^{\circ}C$, $^{\circ}F$ y $^{\circ}R$.

Se llama escala absoluta de temperatura a la que se toma como cero, el cero absoluto de temperaturas, cuando no existe agitación térmica y las moléculas de la sustancia estarían en reposo. El cero en grados centígrados se toma como la temperatura a la que coexisten hielo y agua a la presión atmosférica normal.

$$0^{\circ}C \leftrightarrow 273^{\circ}K$$

Mecanismos para la transferencia de calor. [12]

El calor puede pasar de un cuerpo a otro por tres mecanismos distintos y en el caso que nos interesa, es decir los invernaderos, sucede simultáneamente por los tres: Conducción, Convección y Radiación.

- **Conducción.**

Colocando dos cuerpos sólidos con temperaturas diferentes en contacto, se puede observar el paso de calor desde el cuerpo a mayor temperatura al cuerpo de temperatura más baja, este fenómeno se lo conoce como conducción.

La ecuación elemental para la conducción en una dimensión en estado estable es:

$$Q_k = -k * A * \frac{dT}{dx} \quad (3.4)$$

Donde:

Q_k = Rapidez de flujo de calor [W]

A = área perpendicular al flujo de calor [m^2]

dT/dx = gradiente de temperatura [$^{\circ}C/m$]

k = constante de conductividad térmica del material [$W/m^{\circ}K$]

- **Convección.**

Calentando la parte inferior de un dispositivo que contenga un fluido se puede comprobar que en la parte superior de este depósito el fluido también se ha calentado. El mecanismo de calentamiento se basa en el desplazamiento de materia (fluido) que se halla en la parte baja, y al estar muy caliente, pierde densidad, iniciando un ascenso para dar paso al de la parte superior, frío y más denso, que inicia la bajada. Se establece así un intercambio de materia con corrientes ascendentes y descendentes. A este fenómeno se lo denomina transporte de calor por convección natural.

La convección forzada consiste en colocar algún motor o agitador que acelere la convección natural.

Para cálculos prácticos de calor de convección se suele utilizar la siguiente expresión:

$$Q_c = h_c * A * (T_s - T_{\infty}) \quad (3.5)$$

Donde:

Q_c = Rapidez del flujo de calor $[W]$

h_c = Coeficiente de convección $[W/m^2 \cdot ^\circ K]$

A = Área de transferencia de calor $[m^2]$

T_s = Temperatura de la superficie $[^\circ K]$

T_∞ = Temperatura del fluido $[^\circ K]$

- **Radiación.**

La transferencia de calor por radiación no requiere de un medio para propagarse, de hecho el intercambio radiante entre superficies es máximo cuando existe vacío en el espacio intermedio.

La transferencia de energía por radiación es un fenómeno electromagnético, la banda térmica esta en el rango intermedio y generalmente se considera que está entre 0.1 y 100 micras de longitud de onda.

Un radiador u observador perfecto de energía radiante es un cuerpo negro. El flujo de calor por unidad de área de una superficie negra es:

$$E_b = \sigma * T^4 \quad (3.6)$$

Donde:

E_b = Potencia emisiva semiesférica $[W/m^2]$

σ = Constante de Stefan Boltzman $[5.66 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot ^\circ K^4]$

T = temperatura absoluta $[^\circ K]$

El estudio del cuerpo negro nos permite emplear el comportamiento de tal tipo de superficie como un estándar para comparar a otras superficies no ideales.

Se conocen como cuerpos grises a los cuerpos que emiten calor de acuerdo a la relación:

$$E_b = \varepsilon * \sigma * T^4 \quad (3.7)$$

Donde:

ε = Emisividad

Cuando la radiación incide en una superficie, una parte de la energía penetra en ella y el resto se refleja entre la parte que penetra en la superficie y la parte que puede ser absorbida y la parte transmitida a través de la superficie, con poco cambio en su naturaleza. La energía absorbida se convierte en energía interna del cuerpo que se trata.

Si se designan ρ, α, τ , como las porciones de energía radiante que se reflejan, absorben y transmiten, entonces se puede escribir:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (3.8)$$

Donde:

ρ = Reflectividad

α = Absortividad

τ = Transmisividad

Para calcular el intercambio neto de calor por radiación entre dos cuerpos, es necesario determinar de antemano la fracción de la radiación total emitida por un cuerpo que resulta interceptada por el otro y viceversa.

$$q = F_{12} * A_1 * \sigma * (\varepsilon_1 * T_1^4 - \varepsilon_2 * T_2^4) \quad (3.9)$$

Donde:

F_{12} = Fracción de la radiación que sale de la superficie 1 y llega a la 2.

- **Cálculo de la carga calórica neta.**

- a) Dispersiones caloríficas por conducción - convección**

Son las más importantes y se calculan con la siguiente ecuación:

$$q = U * A_c * (T_i - T_e) \quad (3.10)$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor $\left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right]$

A_c = Superficie total del invernadero expuesta $[m^2]$

T_i = Temperatura del aire en el interior del invernadero $[^\circ K]$

T_e = Temperatura exterior $[^\circ K]$

El coeficiente U se refiere al caso teórico de un invernadero perfectamente hermético dado por:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_0} + \frac{1}{h_i} + \frac{e}{k}} \quad (3.11)$$

Donde:

h_0 = Coeficiente de convección del aire exterior $\left[\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ K} \right]$

$h_0 = 5.62 + 3.91V$

V = Velocidad del viento $[m/s]$

h_i = Coeficiente de convección del aire interior $[3.5 \text{ a } 7 \text{ } W/m^2 \text{ } ^\circ K]$

e = Espesor del material de cubierta $[m]$

k = Conductividad térmica de la cubierta $\left[\frac{W}{m \text{ } ^\circ K} \right]$

b) Dispersiones caloríficas debido a la renovación del aire

Las dispersiones de calor a través de las fisuras son proporcionales al porcentaje de renovaciones del aire en el invernadero y puede expresarse con la siguiente fórmula:

$$q' = R * V * 0,3 * (T_i - T_e) \quad (3.12)$$

Donde:

R = Índice de renovación o número de renovaciones del volumen del aire del invernadero

V = Volumen del invernadero $[m^3]$

T_i = Temperatura del aire en el interior del invernadero $[^\circ K]$

T_e = Temperatura exterior $[^\circ K]$

c) Dispersiones caloríficas a través del suelo

Generalmente se considera que a 50 cm de profundidad la temperatura del suelo no varía, por lo que las pérdidas a través del suelo se calculan como sigue:

$$q'' = k_g * A_g * (T_i - T_g) \quad (3.13)$$

Donde:

k_g = Conductividad térmica del terreno [W/m^0K]

A_g = Área del terreno cubierto [m^2]

T_g = Temperatura del suelo [0K]

T_i = Temperatura interior [0K]

De estudios realizados por diferentes autores [$k_g = 0.52W/m^0K$]

d) Pérdidas por irradiación

Este tipo de pérdida se debe a la irradiación emitida por el suelo, los vegetales y otros hacia el exterior del invernadero, en estas pérdidas se debe tener en cuenta la transmitancia del material de cubierta a esta irradiación; según J.N. WALQUER la pérdida se da por:

$$q_r = 4,4 * 10^{-8} * A_g * P * (T_i^4 - T_e^4) \quad (3.14)$$

Donde:

A_g = Superficie de irradiación (superficie del terreno del invernadero) [m^2]

P = Coeficiente de permeabilidad a las radiaciones

T_i = Temperatura absoluta del aire en el interior del invernadero [0K]

T_e = Temperatura absoluta exterior [0K]

Para el polietileno $P = 0,8$

Para el polietileno de pared doble $P = 0,64$

Para el PVC $P = 0,3$

Para el cristal $P = 0,04$

e) Irradiación solar

La irradiación solar es calor que cede el sol y esta dado por la siguiente fórmula:

$$Q_s = a_s * A_s * \tau * I \quad (3.15)$$

Donde:

a_s = Absorción por parte de la superficie, de la radiación solar [0,7 – 0,8].

A_s = Superficie alcanzada por la radiación solar.

τ = Transmisión por radiación solar [0,8].

I = Intensidad solar [$100 \text{ W/m}^2\text{°C}$].

Latitud de Riobamba: -1,67

$\alpha = 15^\circ\text{C}$, para la Latitud de Riobamba: -1,67

$$I = 100 * \cos \alpha$$

$$I = 96,56 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

f) Balance térmico

Para calcular la cantidad de calor necesaria para la calefacción del invernadero es necesario ante todo tener en cuenta las depresiones caloríficas mencionadas anteriormente:

$$Q = q + q' + q'' + q_r - \text{irradiación solar}$$

Se puede obtener un valor aproximado del valor Q por medio de la siguiente fórmula:

$$Q = K * S * (t_i - t_e)$$

Donde:

K = Coeficiente global de variación térmica que varía en un promedio de 4 a 7 $kCal/m^2 h ^\circ C$

S = Superficie total de la cobertura

t_i = Temperatura del aire en el interior del invernadero [$^\circ C$]

t_e = Temperatura exterior [$^\circ C$]

3.1.2 Calefacción por combustión.

La combustión es la reacción de un combustible con el oxígeno del aire, que genera un desprendimiento de calor. El aire necesario para la combustión se introduce, en *forma natural*, en la cámara de combustión (hogar), merced al tiro de la chimenea (calderas funcionando con combustibles sólidos), o *forzado*, mediante un ventilador que lleva incorporado el quemador mecánico.

La reacción química de la combustión viene representada en la Fig. 3.1.

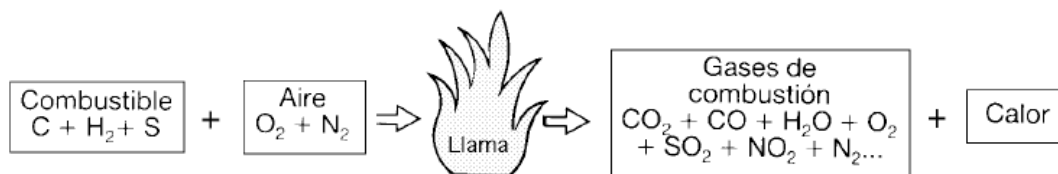


Figura 3.1: Reacción química de la combustión.

En la transmisión de calor entre los gases de la combustión y la pared exterior de la caldera, la transferencia térmica se efectúa por radiación, convección y conducción; la radiación la emite la llama, la convección es debida al desplazamiento de los gases de combustión que están en contacto con la pared exterior de la cámara y la conducción la transmite la llama al incidir sobre la superficie exterior de la caldera. Este calor absorbido por la superficie de las paredes de la cámara de combustión y del circuito de humos, mediante convección pasa al agua de la caldera.

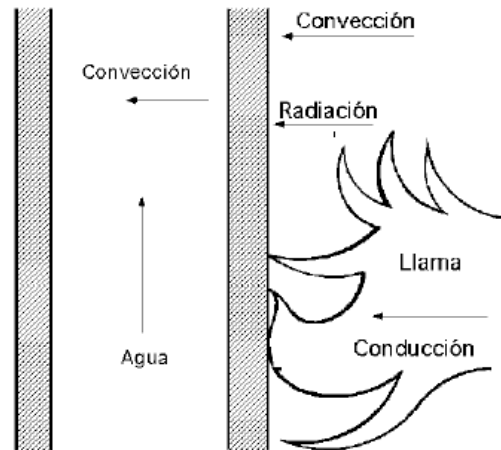


Figura 3.2: Proceso de la transmisión de calor en un conducto.

3.1.2.1 Cámara de combustión y circuito de humos.

La cámara de combustión es la parte de la caldera donde se quema el combustible; la temperatura que en esta zona alcanzan las llamas y los gases de combustión depende de diversos parámetros, sobre todo de la relación (combustible-aire), y puede llegar a los 1800°C. El circuito de humos puede ser más ó menos sinuoso, dependiendo del diseño de la caldera.

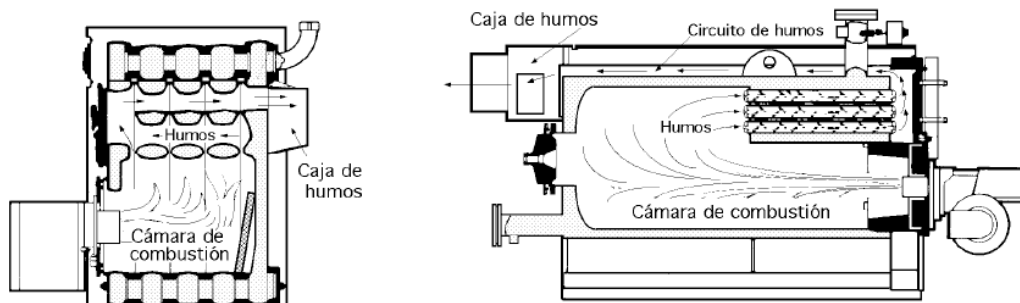


Figura 3.3: Cámaras de combustión con combustibles líquidos o gaseosos, y circuito de humos.

3.1.2.2 Superficie de calefacción de la caldera.

La superficie de intercambio térmico, es la superficie de calefacción de la caldera, y es la suma de la superficie de la cámara de combustión y del circuito de humos. La temperatura de los humos a la salida de la caldera suele oscilar entre los 200°C y 260°C.

3.1.2.3 Caja de humos

La caja de humos (colector de humos), es la parte de la caldera donde confluyen los gases de la combustión en su recorrido final, que mediante un tramo de conexión son conducidos a la chimenea.

3.1.2.4 Clasificación de las calderas según el tipo de combustible.

Las calderas se clasifican, según el combustible a utilizar, en:

- Calderas para combustibles sólidos (leña o carbón).
- Calderas para combustibles fluidos (gasóleo o gas).
- Calderas eléctricas.

3.1.2.5 Calderas para combustibles sólidos.

Pueden utilizar indistintamente carbón o leña; si se utiliza leña, la potencia calorífica de la caldera se reduce aproximadamente un 30% respecto a la de carbón:

Potencia de la leña = 0,7 Potencia del carbón

Las calderas para combustibles sólidos disponen de una puerta de carga en la parte superior por donde se introduce el carbón o la leña.

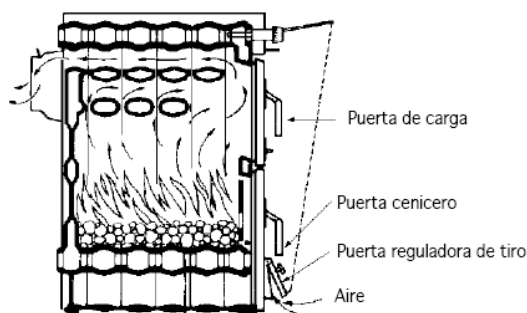


Figura 3.4: Sección de una caldera de combustible sólido.

En la parte inferior va situada la puerta cenicero por la que se extraen las cenizas, y formando parte de ella la puerta reguladora de tiro, a través de la cual se introduce el aire para la combustión.

El carbón o la leña se colocan en las parrillas, que normalmente están refrigeradas por el agua de la caldera (calderas de fundición). Existen modelos que

mediante una sencilla adaptación se pueden transformar para quemar combustibles fluidos.

3.1.2.6 Calderas para combustibles fluidos

Emplean combustibles líquidos o gases, utilizando quemadores mecánicos, específicos para cada caso. Existen modelos de calderas diseñados exclusivamente para utilizar gases, como las calderas murales que van apoyadas en la pared o las calderas de pie que se apoyan en el suelo; ambos tipos de caldera utilizan quemadores atmosféricos.

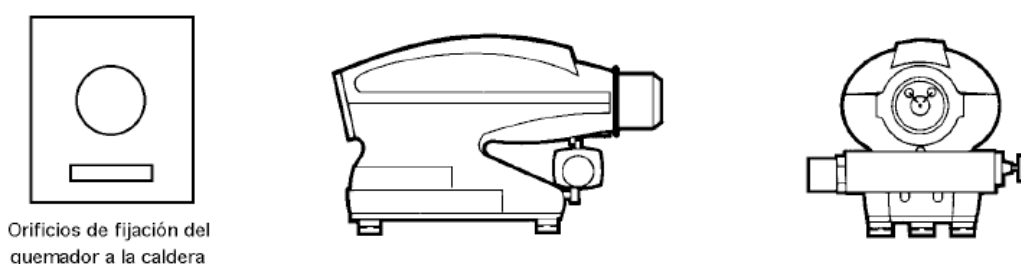


Figura 3.5: Quemador de combustible gaseoso; accesorios de regulación, control y seguridad.

3.1.2.7 Quemadores mecánicos.

Se acoplan a la parte frontal de la caldera mediante una puerta, formando un conjunto rígido; son de funcionamiento totalmente automático, en las que el aire necesario para la combustión lo aporta un ventilador centrífugo que incorpora, Fig. 3.6; estos quemadores disponen de un dispositivo de control, que es el órgano principal del quemador, cuya función es la de programar las secuencias de funcionamiento.

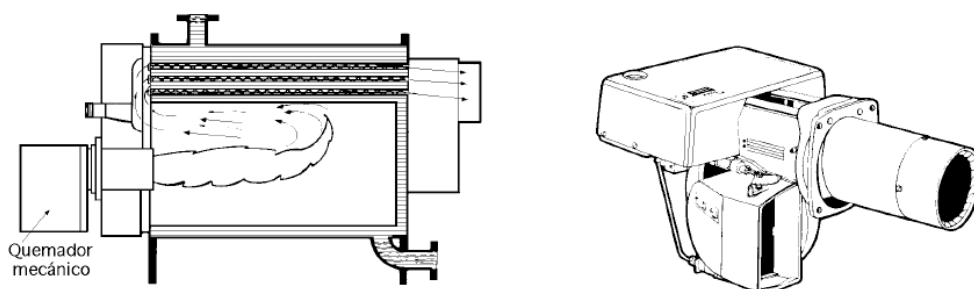
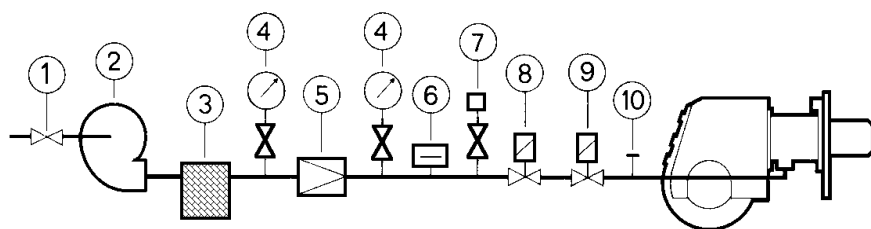


Figura 3.6: Sección de una caldera de combustible líquido con quemador mecánico.

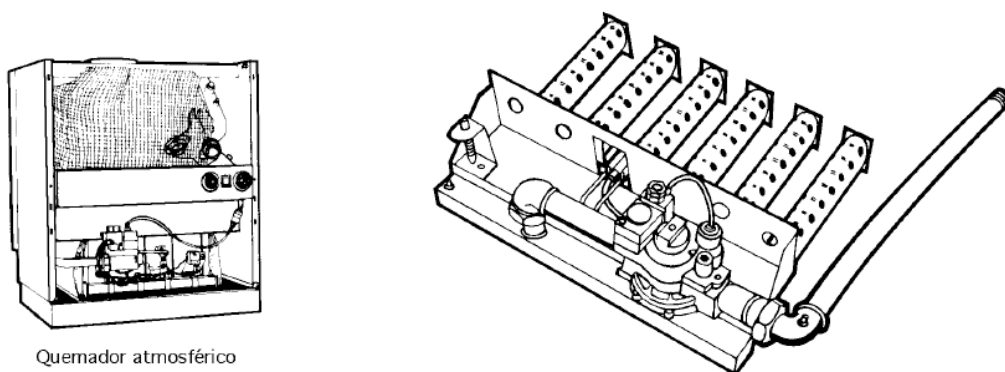


Accesorios de regulación, control y seguridad

- 1.- Válvula de cierre rápido (1/4 de vuelta)
- 2.- Turbina sobrepresora (sólo necesaria para una presión del gas inferior a la requerida por el quemador)
- 3.- Filtro
- 4.- Manómetro con llave de cierre
- 5.- Regulador de presión
- 6.- Presostato de gas
- 7.- Mechero Bunsen con llave de cierre
- 8.- Electroválvula de seguridad de apertura y cierre rápido
- 9.- Electroválvula de regulación con apertura lenta y cierre rápido
- 10.- Punto de purga y control

3.1.2.8 Quemadores atmosféricos.

Van situados en la parte inferior de la caldera; el aire necesario para la combustión del gas se aporta de modo natural por el efecto Venturi que produce el gas al salir por los orificios del quemador.



Quemador atmosférico

Figura 3.7: Caldera con quemador atmosférico.

3.1.2.9 Calderas eléctricas.

Se basan en el calor producido (efecto Joule), por una resistencia eléctrica inmersa en el agua contenida en un recipiente; su principal ventaja es su instalación, que no precisa de chimenea, así como un fácil suministro de energía eléctrica.

3.1.2.10 Potencia específica de una caldera.

La potencia específica de una caldera es la relación entre la potencia calorífica que proporciona y la unidad de superficie calefactora. La potencia específica puede variar mucho de un tipo de caldera a otro, interviniendo en gran manera el diseño, el material de la caldera y el combustible que se utiliza.

3.1.2.11 Cálculo de la caldera.

En la caldera tiene lugar un intercambio térmico entre el calor que emite el combustible quemado y el que el fluido calefactor recibe.

La potencia de la caldera se determina en la forma: $Nu = (Nr + NL) \cdot a$

En la que: $\left\{ \begin{array}{l} Nu \text{ es la potencia de la caldera en Kcal/h} \\ Nr \text{ es la potencia instalada en los radiadores en Kcal/h} \\ NL \text{ son las pérdidas de calor en las tuberías en Kcal/h} \end{array} \right.$

a es un factor, (debido a la inercia térmica), de valor: 1,1 - 1,2

3.1.2.12 Dimensiones de la cámara de combustión.

Para determinar el volumen de la cámara, es necesario que el punto de equilibrio se halle en el punto en el que existe mayor generación de calor. En la teoría de expansión térmica en hogares, el calor ganado es similar a la energía térmica. Entonces el volumen de la cámara se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$V_{cam} = \frac{E_T}{\delta_g \cdot \frac{c_{p_{gb}}}{y} \cdot (T_g - T_w)} \quad (3.15)$$

Donde:

V_{cam} = volumen de la cámara de combustión, [m³]

E_T = Energía térmica, [Kcal/h]

δ_{gb} = Densidad del combustible, [Kg/m³]

$c_{p_{gb}}$ = Calor específico del combustible, [Kcal/Kg*°C]

T_g = Temperatura del gas producto de la combustión, [°C]

T_w = Temperatura de la pared interior de la cámara de combustión, [°C]

y = Tiempo de combustión, [h]

$$E_T = E_{G1} + Q_{pc} = E_{G1}/N_c \quad (3.16)$$

Donde:

E_{G1} = Energía de gases del intercambiador de calor, [Kcal/h]

Q_{pc} = Pérdidas de calor en la cámara de combustión, [Kcal/h]

N_c = Rendimiento de la cámara de combustión

$$E_{G1} = E_{TA}/E \quad (3.17)$$

Donde:

E_{TA} = Energía térmica del aire caliente, [Kcal/h]

E = Eficiencia del intercambiador de calor 79.4%

3.1.3 Intercambiadores de calor. [12]

- **Diseño térmico.**

En el diseño térmico se analizarán las áreas de transferencia de calor necesarias para el correcto intercambio de energía de un fluido caliente hacia otro frío (aire) y así obtener los requerimientos deseados.

- **Coeficiente de transferencia de calor total.**

El coeficiente global de transferencia de calor “U”, expresa la facilidad con la que se transfiere el calor desde un fluido caliente a un frío.

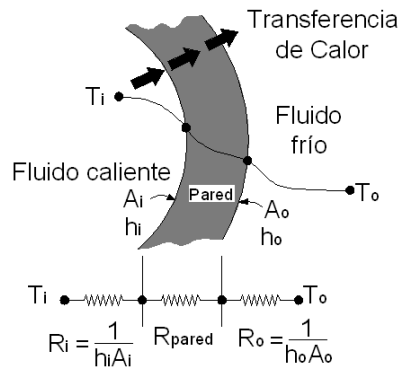


Figura. 3.8: Red de resistencias térmicas.

Por lo general un intercambiador de calor está relacionado con dos fluidos que fluyen separados por una pared sólida. En primer lugar, el calor se transfiere del fluido caliente hacia la pared por convección, después a través de la pared por conducción y por último de la pared hacia el fluido frío de nuevo por convección.

Como se indica en la figura 3.8 la red de resistencias que existen, quedando una resistencia térmica total:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_{pared}} + \frac{1}{R_o} \quad (3.17)$$

Donde:

En el análisis de intercambiadores suele ser conveniente combinar todas las resistencias térmicas que se encuentran en la trayectoria del flujo de calor del fluido caliente hacia el fluido frío en una sola resistencia R y expresar la velocidad de transferencia de calor entre los dos fluidos,

$$Q = \frac{T_i - T_o}{R} \quad (3.18)$$

En donde:

De allí podemos deducir que:

$$R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\delta}{k A} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (3.19)$$

Se puede observar que se tiene dos coeficientes de transferencia de calor totales, U_i y U_o , para un intercambiador de calor. La razón es que todo intercambiador de calor posee dos áreas superficiales para la transferencia de calor, A_i y A_o , las cuales por lo general no son iguales entre sí.

Nótese que $U_i A_i = U_o A_o$, pero que $U_i \neq U_o$ a menos que $A_i = A_o$, por lo tanto el coeficiente de transferencia de calor total U de un intercambiador de calor no tiene significado a menos que se especifique el área sobre la cual se basa. En especial, en el caso en que uno de los lados de la pared del tubo tiene aleta y la otra no, ya que el área superficial del lado con aletas es varias veces mayor que la que no tiene.

Cuando la pared del tubo es pequeña y su conductividad térmica es alta, la resistencia térmica del material es despreciable y las superficies interior y exterior son casi idénticas, debido a ello el coeficiente de transferencia de calor se simplifica:

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} \quad (3.20)$$

Así se obtiene $U \approx U_i \approx U_o$. Este coeficiente de calor está dominado por el coeficiente de convección más pequeño. Cuando uno de los coeficientes de convección es mucho más pequeño que el otro (*por ejemplo*, $h_i \ll h_o$), se tiene $\frac{1}{h_i} \gg \frac{1}{h_o}$, y por consiguiente $U \approx h_i$, por lo tanto el coeficiente de transferencia de calor más pequeño crea un cuello de botella sobre la trayectoria del flujo de calor e impide gravemente la transferencia de este último. Esta situación se presenta con frecuencia cuando uno de los fluidos es un gas y el otro es un líquido. En estos casos, es práctica común el uso de aletas del lado del gas para mejorar el producto UA_s y en consecuencia, la transferencia de calor de ese lado.

Cuando el tubo tiene aletas en uno de sus lados para mejorar la transferencia de calor, el área superficial para la transferencia de calor total en ese lado queda:

$$A_s = A_{total} = A_{aleta} + A_{sin aleta}$$

Donde:

A_{aleta} : Área superficial de las aletas.

$A_{sin aleta}$: Área de la parte sin aletas de la superficie del tubo.

Para aletas bajas de alta conductividad térmica se puede usar esta área total en relación a la resistencia a la convección $R = \frac{1}{hA_s}$ ya que, en este caso, las aletas serán con mucha aproximación isotérmicas. En el caso contrario, debemos determinar el área superficial efectiva a partir de:

$$A_s = \eta_f A_{aleta} + A_{sin\ aleta}$$

Donde:

η_f : eficiencia de la aleta.

De esta manera tomamos en cuenta la caída de la temperatura a lo largo de la aleta.

Tabla 3.2: VALORES REPRESENTATIVOS DE LOS COEFICIENTES TOTALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.

TIPO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR	U, W/m ² .°C
Agua hacia agua	850-1700
Vapor de agua hacia combustóleo ligero	200-400
Condensador de vapor de agua	1000-6000
Condensadores de alcohol (agua enfriada)	250-700
Gas hacia gas	10-40
Agua hacia aire en tubos con aletas	30-60 *
(agua en los tubos)	400-850 *
Vapor de agua hacia aire en tubos con aletas	30-300 *
(vapor de agua en los tubos)	400-4000 **

- **Factor de Incrustación.**

El rendimiento de los intercambiadores de calor suele deteriorarse con el paso del tiempo como resultado de la acumulación de depósitos sobre las superficies de transferencia de calor. Las capas de incrustaciones normalmente tienen una más baja conductibilidad térmica que los fluidos o el tubo el material. La capa de depósitos representa una resistencia adicional para esta transferencia y hace que disminuya la velocidad de la misma en un intercambiador. El efecto neto de estas acumulaciones sobre la transferencia de calor se representa por un factor de incrustación R_f el cual es una medida de la resistencia térmica introducida por la incrustación.

El tipo más común de incrustación es la precipitación de depósitos sólidos que se encuentran en un fluido sobre las superficies de transferencia de calor. Otra forma

de incrustación, común en la industria de procesos químicos, es la corrosión y otra más, es la incrustación química. En este caso las superficies se incrustan por la acumulación de los productos de las reacciones químicas sobre ellas. También existe la incrustación biológica como el crecimiento de algas.

En las aplicaciones donde es probable que ocurra, la incrustación debe considerarse en el diseño y selección de los intercambiadores de calor. Es obvio que el factor de incrustación es cero en un intercambiador de calor nuevo, y que aumenta con el tiempo a medida que se acumulan los depósitos de sólidos sobre la superficie del mismo. El factor de incrustación depende de la temperatura de operación y de la velocidad de los fluidos, así como de la duración del servicio. La incrustación se incrementa al aumentar la temperatura y al disminuir la velocidad.

La relación del coeficiente de transferencia de calor total dada anteriormente es válida para superficies limpias y es necesario modificarla para tomar en cuenta los efectos de la incrustación sobre las superficies interior y exterior del tubo.

Tabla 3.3: FACTORES DE INCRUSTACIÓN REPRESENTATIVOS.

FLUIDO	$R_f, m^2 \cdot ^\circ C/W$
Agua destilada, agua de mar, agua de río, agua de alimentación para calderas:	
Por debajo de 50 °C	0.0001
arriba de 50 °C	0.0002
Vapor de agua (libre de aceites)	0.0001
Refrigerantes (líquido)	0.0002
Refrigerantes (vapor)	0.0004
Vapores de alcohol	0.0001
Aire	0.0004

- **Determinación del Coeficiente Global de Transferencia de Calor.**

El coeficiente Global de transferencia de calor, incluyendo los factores de incrustación, se calculará de la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_o \eta_f} + \frac{R_{f,o}}{\eta_f} + R_w + R_{f,i} \left(\frac{A_o}{A_i} \right) + \frac{1}{h_i} \left(\frac{A_o}{A_i} \right) \quad (3.21)$$

Donde:

U : Coef. global de transferencia de calor. $\left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$

$R_{f,o}$: Factor de incrustación en la superficie externa del tubo. $\left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W} \right]$

$R_{f,i}$: Factor de incrustación en la superficie interna del tubo. $\left[\frac{m^2 \text{°C}}{W} \right]$

R_w : Resistencia de pared respecto a la superficie externa del tubo. $\left[\frac{m^2 \text{°C}}{W} \right]$

h_o, h_i : Coeficientes de convección externo e interno. $\left[\frac{W}{m^2 \text{°C}} \right]$

η_f : Eficiencia de la aleta, en caso de haberla.

Resistencia de Pared de Tubo.

Tubo liso:

$$R_w = \frac{D}{2k} \ln \left(\frac{D}{D-2t} \right) \quad (3.22)$$

Tubo aletado:

$$R_w = \frac{t}{k} \left(\frac{D+2N l (D+l)}{D-t} \right) \quad (3.23)$$

D : Diámetro externo del tubo o diámetro de la raíz de la aleta. [m]

l : Altura de la aleta. [m]

t : Espesor del tubo. [m]

N : Número de aletas por metro.

k : Conductividad térmica. $\left[\frac{W}{m \text{°C}} \right]$

- **Análisis de los Intercambiadores de Calor.**

Esta fase se ocupa primordialmente de determinar el área de superficie para transferir el calor a una velocidad específica y en determinados niveles, incluyéndose la determinación de temperaturas, el flujo másico, el número de tubos, las dimensiones, longitudes, etc. Existen dos métodos de cálculo:

Método de la diferencia de temperaturas media logarítmica LMTD. Es el más apropiado para seleccionar un intercambiador de calor o determinar el tamaño que logre un cambio de temperatura específica de una corriente de fluido de gasto de masa conocido.

Método de la efectividad NTU o número de unidades de transferencia de calor. Apropiado para predecir las temperaturas de salida de las corrientes de fluido caliente y del frío en un intercambiador de calor específico.

Los intercambiadores de calor suelen operar durante largos periodos sin cambios en sus condiciones de operación. Por lo tanto, se pueden considerar como aparatos de flujo estable. Como tales, el gasto de masa de cada fluido permanece constante y las propiedades de los fluidos, como la temperatura y la velocidad, en cualquier entrada o salida, siguen siendo las mismas. Asimismo, las corrientes de fluido experimentan poco o ningún cambio en sus velocidades y elevaciones y como consecuencia, los cambios de la energía cinética y en la potencial son despreciables. En general, el calor específico de un fluido cambia con la temperatura; pero, en un intervalo específico de temperatura se puede considerar como una constante en algún valor promedio, con poca pérdida en la exactitud. La conducción axial de calor a lo largo del tubo suele ser insignificante y se puede considerar despreciable. Además, se considera que la transferencia de calor sólo ocurre entre los dos fluidos.

Por lo tanto son de uso común. En base a estas hipótesis, puede aplicarse la primera ley de la termodinámica que requiere que la velocidad de transferencia de calor desde el fluido caliente sea igual a la transferencia de calor hacia el frío; es decir:

$$\dot{Q} = \dot{m}_c C_{pc} (T_{c,sal} - T_{c,ent}) = C_c (T_{c,sal} - T_{c,ent}) \quad (3.24)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_h C_{ph} (T_{h,ent} - T_{h,sal}) = C_h (T_{h,ent} - T_{h,sal}) \quad (3.25)$$

Donde:

Los subíndices c y h se refiere a los fluidos frío y caliente respectivamente.

- \dot{m}_c, \dot{m}_h : Gastos de masa.
 C_{pc}, C_{ph} : Calores específicos.
 $T_{c,sal}, T_{h,sal}$: Temperaturas de salida.
 $T_{c,ent}, T_{h,ent}$: Temperaturas de entrada.
 C_c ó $C_h = \dot{m}C_p$: Razón de capacidad calórica.

En el análisis de los intercambiadores de calor a menudo resulta conveniente combinar el producto del gasto de masa y el calor específico de un fluido en una sola cantidad, llamada razón de capacidad calórica y que se define por las corrientes de los fluidos caliente y frío.

La razón de capacidad calórica de una corriente de fluido representa la velocidad de transferencia de calor necesaria para cambiar la temperatura de esa corriente en

1°C conforme fluye por el intercambiador de calor. La razón de capacidad calórica de un fluido durante un proceso de evaporación o condensación debe tender al infinito, puesto que el cambio en la temperatura es prácticamente cero; es decir $C = \dot{m} C_p \rightarrow \infty$ cuando $(\Delta T \rightarrow 0)$, de modo que la velocidad de transferencia de calor $\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T$ es una cantidad finita.

La velocidad de transferencia de calor en un intercambiador de calor también se puede expresar de una manera análoga a la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_m \quad (3.25)$$

Donde:

U : Coeficiente de calor total.

A_s : Área de transferencia de calor.

ΔT_m : Diferencia promedio apropiada de temperaturas entre los fluidos.

- **Método de la diferencia de temperaturas media logarítmica, LMTD.**

La diferencia de temperaturas entre los fluidos caliente y frío varía a lo largo del intercambiador y resulta conveniente tener una diferencia media de temperaturas para usarse en la ecuación $\dot{Q} = UA_s \Delta T_m$, resultando:

$$\dot{Q} = UA_s LMTD \quad (3.26)$$

La diferencia de temperaturas media logarítmica se obtiene siguiendo el perfil real de temperaturas de los fluidos a lo largo del intercambiador y es una representación exacta de la diferencia de temperatura promedio entre los fluidos caliente y frío. De donde:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3.27)$$

La diferencia de temperatura media logarítmica es la representación apropiada de la diferencia de temperatura promedio que debe usarse en el análisis de los intercambiadores de calor. En este caso ΔT_1 y ΔT_2 representan la diferencia de temperatura entre los dos fluidos del intercambiador. No existe diferencia con respecto a cuál de los extremos de éste se designe como la entrada o la salida.

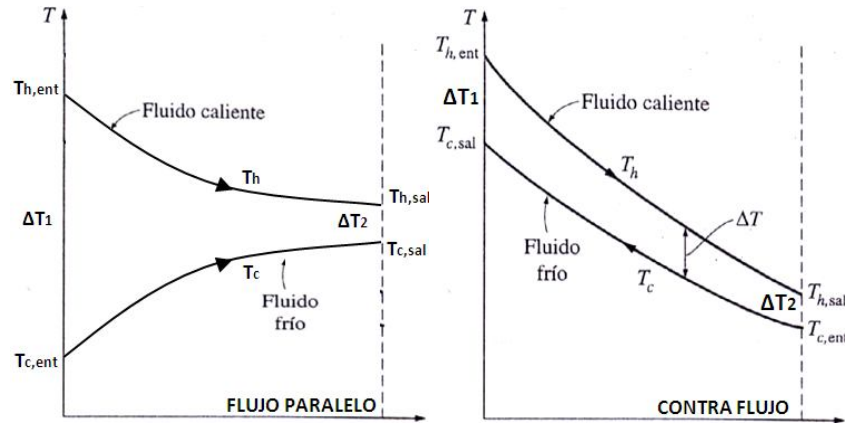


Figura 3.9: Variación de las temperaturas de los fluidos en un intercambiador.

Para los intercambiadores de flujo cruzado y de coraza y tubo de pasos múltiples la diferencia de temperaturas media logarítmica está relacionada con la correspondiente al contra flujo como:

$$LMTD_{corregido} = F \cdot LMTD \quad (3.28)$$

Donde F es el factor de corrección, que depende de la configuración geométrica del intercambiador y de las temperaturas de entrada y salida de las corrientes de los fluidos caliente y frío. $F = 1$, cuando existe cambio de fase sin importar la configuración del intercambiador de calor.

Método de la efectividad - Número de unidades de transferencia de calor NTU.

Es el más adecuado para predecir las temperaturas de salida de las corrientes de los fluidos caliente y frío en un intercambiador específico, este método se basa en un parámetro adimensional llamado Efectividad de la Transferencia de Calor definido como:

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{Q_{m\acute{a}x}} = \frac{\text{Velocidad de la transferencia de calor real}}{\text{Velocidad máxima posible de la transferencia de calor}} \quad (3.29)$$

La velocidad de la transferencia de calor real de un intercambiador de calor se puede determinar a partir de un balance de energía en los fluidos caliente y frío:

$$\dot{Q} = C_c(T_{c,sal} - T_{c,ent}) = C_h(T_{h,ent} - T_{h,sal}) \quad (3.30)$$

$$C_h = \dot{m}_h C_{ph} \quad (3.31)$$

$$C_c = \dot{m}_c C_{pc} \quad (3.32)$$

La velocidad máxima posible de transferencia de calor en un intercambiador de calor es:

$$\dot{Q}_{m\acute{a}x} = C_{m\acute{m}}(T_{h,ent} - T_{c,ent}) \quad (3.33)$$

$$\text{Donde } C_{m\acute{m}} \text{ es el menor entre } C_h = \dot{m}_h C_{ph} \text{ y } C_c = \dot{m}_c C_{pc} \quad (3.34)$$

La relación de capacidades de calor está dada por:

$$c = \frac{C_{m\acute{m}}}{C_{m\acute{a}x}} \quad (3.35)$$

Cuando el fluido caliente es un vapor de condensación, para todos los propósitos prácticos $C_h \rightarrow \infty$, entonces $C_{m\acute{a}x} = \infty$.

La efectividad de un intercambiador de calor depende de su configuración geométrica así como de la configuración del flujo. La relación de efectividad para todos los intercambiadores de calor con la relación de capacidades $c = 0$, es:

$$\varepsilon = 1 - \exp(-NTU) \quad (3.36)$$

El Número de Unidades de Transferencia de calor NTU, se expresa como:

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{m\acute{m}}} \quad (3.37)$$

Donde:

U : *coeficiente global de transferencia de calor*. $[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}]$

A_s : *Área superficial de transferencia de calor*. $[m^2]$

- **Diseño hidráulico.**

El diseño hidráulico establece la caída de presión que sufren los fluidos, y asegura que se encuentre dentro de rangos permisibles que permitan el correcto funcionamiento del equipo.

- **Caída de presión.**

Es una medida de la resistencia que los tubos ofrecen al flujo sobre ellos.

- **Fluido externo.**

En el diseño de intercambiadores de calor, es necesario calcular la caída de presión que experimenta el fluido que fluye sobre un banco de tubos. No es posible calcular la caída de presión utilizando las relaciones para un solo tubo, ya que existe una gran cantidad de interacción entre los tubos, especialmente en el sentido de la corriente en la primera línea.

La caída de presión se la expresa como:

$$\Delta p = N_L f \chi \frac{\rho V_{m\acute{a}x}^2}{2} \quad (3.38)$$

Donde:

Δp : Caída de presión en el banco de tubos. $\left[\frac{N}{m^2} \right]$

N_L : Número de filas en la dirección del flujo.

f : Factor de fricción.

χ : Factor de correlación.

$V_{m\acute{a}x}$: Velocidad máxima del fluido. $\left[\frac{m}{s} \right]$

ρ : Densidad del fluido. $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

El factor de fricción f , para arreglo escalonado está dado por la ecuación:

$$f = 4 \left(0.25 + \frac{0.1175}{\left(\frac{s_T - D}{D} \right)^{1.08}} \right) Re_{m\acute{a}x}^{-0.16} \quad (3.39)$$

La ecuación es válida para $2000 < Re < 40000$

- **Fluido interno.**

Todo fluido real pierde energía al circular de un punto a otro por una conducción. Esta pérdida de energía se debe al rozamiento que se produce entre el fluido y las paredes de la conducción así como por el paso del mismo a través de los obstáculos que presenta la tubería: cambios de dirección, estrechamientos o cambios de sección, válvulas, derivaciones, manguitos, etc.

- **Diseño mecánico.**

Para el diseño mecánico debemos hacer uso de códigos y normas de los equipos a presión. Se deben considerar las condiciones de operación, la presión y la temperatura de los fluidos que intercambian calor y que son de gran importancia para el diseño mecánico del intercambiador.

Para el análisis de diseño mecánico se debe tomar en cuenta que tipos de esfuerzos actúan en las partes del equipo, para nuestro caso se analizará el tubo de acero inoxidable AISI 304, el Colector y el Distribuidor, ya que estos elementos son los que estarán sometidos a esfuerzos mecánicos y térmicos.

- **Esfuerzos Mecánicos.**

En los recipientes cilíndricos sujetos a presión, los cilindros hidráulicos y las tuberías que conducen fluidos de alta presión, se presentan esfuerzos radiales y circunferenciales cuyo valor depende del radio del elemento en consideración.

Para la determinación de los esfuerzos utilizamos las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 - r_o^2 (p_o - p_i)}{r_o^2 - r_i^2} \quad (3.40)$$

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2 + r_o^2 (p_o - p_i)}{r_o^2 - r_i^2} \quad (3.41)$$

Donde:

$$\sigma_t : \text{Esfuerzo tangencial.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\sigma_r : \text{Esfuerzo radial.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$p_i : \text{Presión interna.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$p_o : \text{Presión externa.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$r_i : \text{Radio interno del tubo.} [cm]$$

$$r_o : \text{Radio externo del tubo.} [cm]$$

Cuando se trata de recipientes cilíndricos cuya pared tiene un espesor de $1/20$ de su radio o menos, se puede considerar que el esfuerzo radial producido por la presión del contenido del cilindro es muy pequeño en comparación con el esfuerzo

tangencial, cuando se acepta esta hipótesis se dice que el cilindro es de pared delgada.

$$\sigma_t = \frac{pd_i}{2t} \quad (3.42)$$

$$\sigma_l = \frac{pd_i}{4t} \quad (3.43)$$

Donde:

$$\sigma_l : \text{Esfuerzo longitudinal.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

Espesor del tubo.

El espesor del tubo es determinado en la parte del diseño térmico, pero es necesario comprobar dicho valor con las condiciones de presión interna y externa a que están sometidos.

Esfuerzo circunferencial (Juntas longitudinales).

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (3.44)$$

$$t = \frac{PR_0}{SE - 0.4P} \quad (3.45)$$

Las ecuaciones anteriores se aplican cuando el espesor del tubo no excede la mitad del radio interior ó $P < 0.385SE$.

Esfuerzo longitudinal para cuerpos cilíndricos (Juntas circunferenciales).

$$t = \frac{PR}{2SE - 0.4P} \quad (3.46)$$

La ecuación anterior se aplica cuando el espesor del tubo no excede la mitad del radio interior ó $P < 0.385SE$

Donde:

$$P = p_i : \text{Presión interna.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$R = R_0 = r_i : \text{Radio interno del tubo.} [cm]$$

$$E : \text{Eficiencia de la junta.}$$

S : Esfuerzo admisible máximo. $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$

t : Espesor del tubo. $[cm]$

El esfuerzo equivalente de Von Misses es dado por:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_r^2 - \sigma_r\sigma_t + \sigma_t^2} \quad (3.47)$$

$$n = \frac{Sy}{\sigma_{eq}} \quad (3.48)$$

Donde:

Sy : Resistencia a la fluencia del material. $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$

n : Factor de seguridad.

- **Alternativas de construcción.**

Tenemos dos alternativas para la distribución de los tubos de los intercambiadores de calor que son:

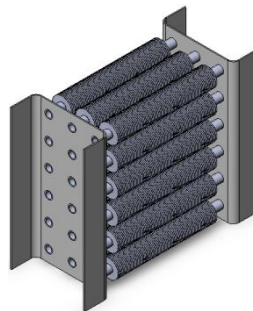


Figura 3.10: Distribución en línea.

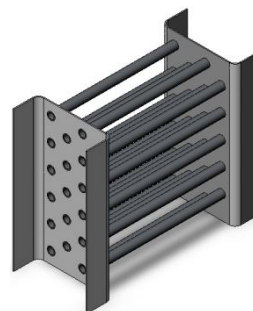


Figura 3.11: Distribución escalonada.

Para la distribución del flujo dentro del colector y distribuidor hemos visto conveniente tomar las tres alternativas que indicamos a continuación:

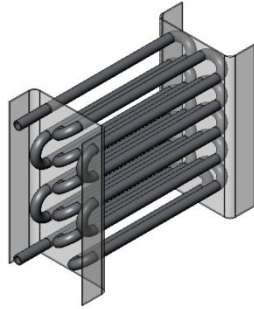


Figura 3.12: Alternativa 1.

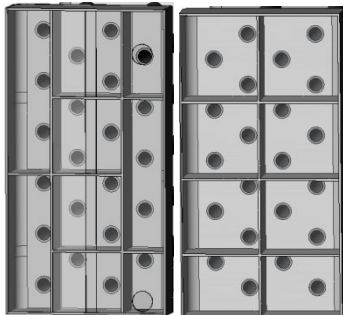


Figura 3.13: Alternativa 2.

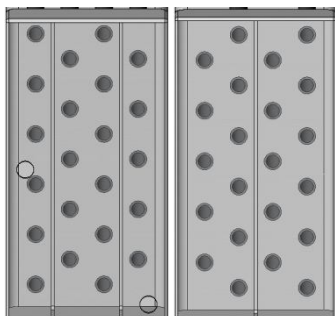


Figura 3.14: Alternativa 3.

Alternativa 1.

La desventaja que tendríamos en la construcción de este modelo esta en el conformado de los codos, ya que por ser de radios pequeños su elaboración es complicada, otra desventaja que observamos.

Alternativa 2.

Este modelo es de fácil elaboración, pero el inconveniente es que la evacuación del condensado sería muy complicada, a demás abría un aumento considerable de peso y material lo que significa mayor costo.

Alternativa 3.

Al igual que el modelo anterior es de fácil construcción y, no tendríamos el inconveniente de la acumulación del condensado, al requerir menor material por ende seria menor su costo.

Debido a lo mencionado anteriormente hemos deducido que la alternativa 3 es la más conveniente.

- **Esfuerzos térmicos.**

Los esfuerzos térmicos son debidos al gradiente de temperatura en un cuerpo lo que puede producir expansión o contracción.

$$\sigma_{T\acute{e}rm} = \frac{\alpha(T_w - T_i)E}{1 - \varphi} \quad (3.49)$$

Donde:

$$\sigma_{T\acute{e}rm} : \text{Esfuerzo térmico.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\alpha : \text{Coeficiente de dilatación longitudinal.} \left[\frac{1}{^\circ C} \right]$$

$$T_w : \text{Temperatura externa del tubo. } [^\circ C]$$

$$T_i : \text{Temperatura interna del tubo. } [^\circ C]$$

$$E : \text{Módulo de elasticidad.} \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\varphi : \text{Relación de Poisson. [adimensional]}$$

Psicrometría.

El contenido de agua en una muestra de gas se puede expresar en términos de varias magnitudes, entre las que se encuentran, la humedad relativa, la temperatura de punto de rocío, y la temperatura de bulbo húmedo.

La humedad relativa y la temperatura de punto de rocío se relacionan por:

$$HR \approx \frac{e(t_d)}{e(t)} \quad (3.50)$$

Donde:

$e(t)$: Es la presión de vapor de agua a una temperatura t .

t_d : Es la temperatura de punto de rocío.

t : Es la temperatura ambiente.

Una aproximación para calcular la presión de vapor de agua es:

$$\ln e(T) = \sum_{i=1}^6 g_i T^{i=2} + g_7 \ln(T) \quad (3.51)$$

Donde:

$e(T)$: Presión de vapor de agua. [Pa]

T : Temperatura. [K]

g : Coeficientes de la aproximación de Sonntag.

Tabla 3.4: COEFICIENTES DE LA APROXIMACIÓN DE SONNTAG.

Coef.	Valor	Unidades
g_1	-6096.9385	Pa.K ⁻¹
g_2	21.2409642	Pa
g_3	-0.02711193	Pa.K
g_4	1.67395E-05	Pa.K ²
g_5	0	Pa.K ³
g_6	0	Pa.K ⁴
g_7	2.433502	Pa.K ⁻¹

En un psicrómetro aspirado el cálculo de la humedad relativa se realiza a partir de mediciones de temperatura de bulbo húmedo t_w y de temperatura de bulbo seco t y esta dada por la ecuación siguiente:

$$HR = \frac{e(t_w) - A P (t - t_w)}{e(t)} \quad (3.52)$$

Donde:

A : Constante ($6.6 \times 10^{-4} \text{°C}^{-1}$)

P : Presión atmosférica. [Pa]

$e(t_w)$: Es la presión de vapor de agua a t_w .

$e(t)$: Es la presión de vapor de agua a temperatura ambiente t

3.1.4 Calefacción por resistencias eléctricas.

Ley de Joule.

Podemos describir el movimiento de los electrones en un conductor como una serie de movimientos acelerados, cada uno de los cuales termina con un choque contra alguna de las partículas fijas del conductor.

Los electrones ganan energía cinética durante las trayectorias libres entre choques, y ceden a las partículas fijas, en cada choque, la misma cantidad de energía que habían ganado. La energía adquirida por las partículas fijas (que son fijas solo en el sentido de que su posición media no cambia) aumenta la amplitud de su vibración o sea, se convierte en calor. Para deducir la cantidad de calor desarrollada en un conductor por unidad de tiempo, hallaremos primero la expresión general de la potencia suministrada a una parte cualquiera de un circuito eléctrico. Cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, éste experimenta un aumento de temperatura. Este efecto se denomina “efecto Joule”.

Es posible calcular la cantidad de calor que puede producir una corriente eléctrica en cierto tiempo, por medio de la ley de Joule.

Supongamos, como en un calentador eléctrico, que todo el trabajo realizado por la energía eléctrica es transformado en calor. Si el calentador funciona con un voltaje V y una intensidad I durante un tiempo t , el trabajo realizado es:

$$W = V \cdot I \quad (3.53)$$

Y como cada J equivale a 0,24 cal, la cantidad de calor obtenido será:

$$Q = 0,24 V \cdot I \quad (3.54)$$

V debe medirse en volts, I en amperes y t en segundos, para que el resultado esté expresado en calorías.

La ley de Joule enuncia que:

“El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un conductor es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y el tiempo que dura la corriente “.

$$Q = R \cdot I^2 \quad (3.55)$$

Mediante la ley de Joule podemos determinar la cantidad de calor que es capaz de entregar una resistencia, esta cantidad de calor dependerá de la intensidad de corriente que por ella circule, del valor de la resistencia eléctrica y de la cantidad de tiempo que esté conectada, luego podemos enunciar la ley de Joule diciendo que la cantidad de calor desprendido por una resistencia es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de corriente al valor de la resistencia y al tiempo.

Aplicaciones.

En este efecto se basa el funcionamiento de diferentes electrodomésticos como los hornos, las tostadoras y las calefacciones eléctricas, y algunos aparatos empleados industrialmente como soldadoras, etc., en los que el efecto útil buscado es, precisamente, el calor que desprende el conductor debido al paso de la corriente.

Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones este es un efecto indeseado y es la razón por la que los aparatos eléctricos y electrónicos necesitan un ventilador que disminuya el calor generado y evite el calentamiento excesivo de los diferentes dispositivos como podían ser los circuitos integrados o mismamente las bombillas incandescentes que producen más energía calorífica que lumínica.

Una corriente de electricidad existe en una región cuando una carga neta se transporta desde un punto a otro en dicha región suponiendo que la carga se mueve a través de un alambre. Si la carga q se transporta a través de una sección transversal dada del alambre en un tiempo t, entonces la corriente I a través del alambre es $I = q/t$. Aquí q está en Coulombs, t en segundos e I en Amperes ($1Amp. = 1Coul/seg$).

3.1.5 Calefacción por tuberías enterradas. [4]

Este sistema de calefacción se basa en la circulación de agua caliente de una fuente de calor (caldera) que distribuye el agua mediante una serie de tuberías a lo largo de todo el invernadero. En la caldera el agua se calienta a 80-90°C. Para distribuir el calor por todo el invernadero las tuberías se colocan a unos 50 cm por debajo del suelo, y pueden ser fijas o móviles, reduciendo los costos energéticos con respecto a los sistemas antiguos de calefacción con tuberías por el techo del invernadero.

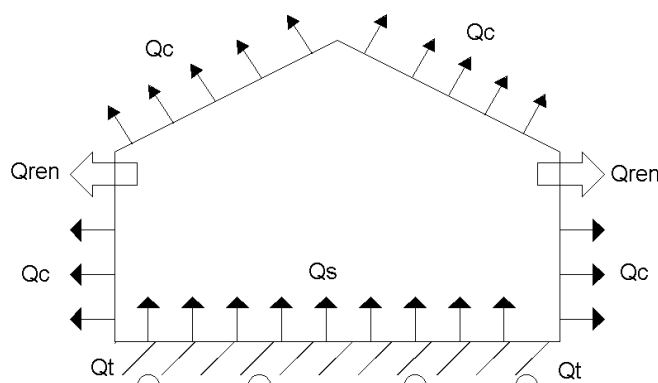


Figura. 3.15: Tubería enterrada.

La distribución del calor dentro del invernadero por el sistema de calefacción central por agua caliente se puede hacer de dos formas diferentes:

- Por termofusión, con tubos de diámetro grande, con una ligera pendiente unidescendente.
- Por impulsión de bombas o aceleradores con tubería de diámetro menor y una temperatura en el agua de retorno más elevada que en el caso anterior.

Las características del sistema de calefacción del suelo por agua caliente que más destacan, son:

- Al estar el calor aplicado en la base, la temperatura del aire del invernadero es mucho más uniforme en comparación con la calefacción tradicional por tubo caliente colgado del techo.
- Para calentar el suelo se puede utilizar agua entre 30 y 40° C y por tanto es una forma de aplicación de energías alternativas como la geotérmica, calor residual industrial y solar a baja temperatura.
- Los costos de bombeo de agua son mayores. Debido a que la caída de temperatura del agua de calefacción en el invernadero es menor en los sistemas a baja

temperatura, se precisa bombear mayor cantidad de agua para ceder la misma cantidad de calor.

- Se pueden usar materiales económicos como el polietileno en lugar de tuberías más caras de acero o de aluminio.
- En general, los sistemas de calefacción de suelo representan un ahorro de energía.
- Sus costos de instalación son elevados.

3.2 **Sistemas de enfriamiento.** [2][13]

3.2.1 **Ventilación.**

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido en CO₂ y el oxígeno que hay en el interior del invernadero. La ventilación puede hacerse de una forma natural o forzada.

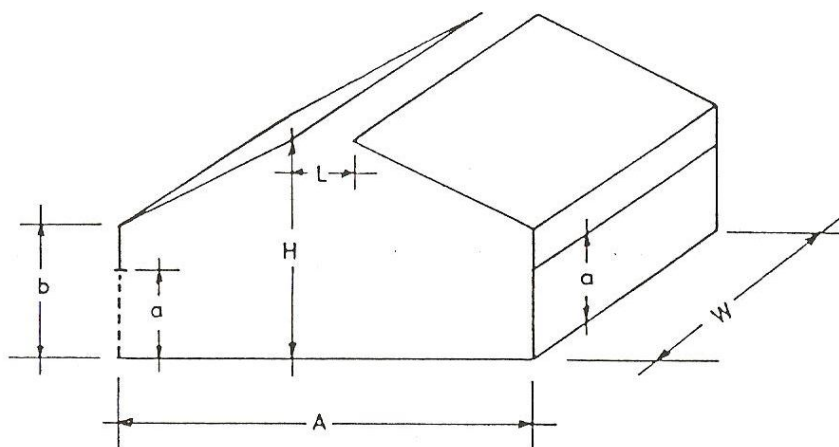


Figura 3.16: Esquema de la ventilación de un invernadero.

3.2.2 **Ventilación natural o pasiva.**

Se basa en la disposición, en las paredes y en el techo del invernadero, de un sistema de ventanas que permiten la aparición de una serie de corrientes de aire que contribuyen a disminuir las temperaturas elevadas y a reducir el nivel higrométrico.

Las ventanas pueden ser cenitales si se disponen en la techumbre o laterales si están colocadas sobre las paredes laterales del invernadero. Se admite que una ventana cenital de una determinada superficie resulta a efectos de aireación hasta ocho veces más efectiva que otra situada lateralmente de igual superficie. Normalmente las ventanas deben ocupar

entre un 18 y 22% de la superficie de los invernaderos, teniendo en cuenta que con anchuras superiores a los 20 m. será imprescindible disponer de una ventilación cenital que mejore la aireación lateral.

La apertura y el cierre de las ventanas suele hacerse mecánicamente a través de un sistema de cremalleras, accionado eléctricamente por un termostato, aunque también puede hacerse manualmente.

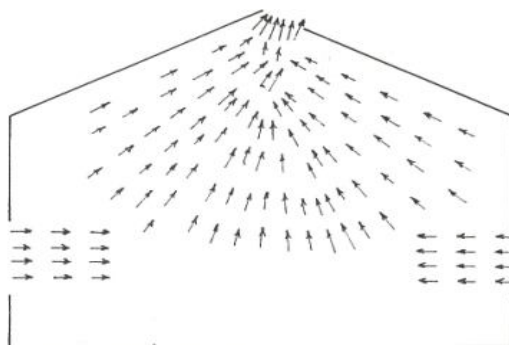


Figura 3.17: Ventilación cenital o natural en un invernadero.

3.2.3 Ventilación mecánica o forzada.

Cuando la ventilación natural de ningún modo puede llevarse a cabo o es insuficiente, como ocurre en muchas situaciones, hay que recurrir a la ventilación por medios mecánicos para conseguir la necesaria renovación del volumen de aire que se concentra en el interior de un recinto cerrado.

La ventilación por medios mecánicos suele efectuarse por intermedio de ventiladores y extractores de aire que pueden montarse de manera individual en el lugar elegido o bien emplear una instalación colectiva que ampare un circuito de tubería.

Una de las formas más comunes de ventilación individual es la que se efectúa en las cocinas por medio de las campanas extractoras de humo situándola lo más cerca posible de los fogones, sin que resulte molesta para quien está cocinando.

La ventilación colectiva se lleva a cabo mediante un circuito de entrada y salida de aire, o por medio de un colector general de extracción conectado a un ventilador de potencia adecuada que expulsa el aire viciado al exterior.

Nuestro trabajo se centra en el sistema de enfriamiento por lo que hay que estudiar los sistemas más comunes para de acuerdo a estos elegir el que nos brinde mayores rentabilidades desde el punto de vista técnico y económico.

3.3 Alternativas de Enfriamiento.

Las dos alternativas que se han de analizar son:

- Ventanas corredizas
- Ventiladores

3.3.1 Ventanas corredizas.

Neumática.

La neumática es una fuente de energía de fácil obtención y tratamiento para el control de máquinas y otros elementos sometidos a movimiento. La generación, almacenaje y utilización del aire comprimido resultan relativamente baratos y además ofrece un índice de peligrosidad bajo en relación a otras energías como la electricidad y los combustibles gaseosos o líquidos. Así mismo, ofrece una alternativa altamente segura en lugares de riesgo de explosión por deflagración, donde otras energías suponen un riesgo importante por la producción de calor, chispas, etc.

Por estas ventajas las instalaciones de aire comprimido son ampliamente usadas en todo tipo de industrias, incluso en todo tipo de transporte, aéreo, terrestre y marítimo.

Cilindro neumático de movimiento lineal.

El cilindro neumático consiste en un cilindro cerrado con un pistón en su interior que se desliza y transmite su movimiento al exterior mediante un vástago.

Se compone de las tapas traseras y delanteras, de la camisa donde se mueve el pistón, del propio pistón, de las juntas estáticas y dinámicas del pistón y del anillo rescatador que limpia el vástago de suciedad.

El cilindro neumático guiado dos o más vástagos rígidos guiados proporcionan una antirotación al mecanismo acoplando al cilindro, evitando las fuerzas radiales y de torsión que la carga ejercería en un cilindro normal.

El cilindro neumático de impacto mueve el vástago a gran velocidad (10 m/s) y se utiliza en la prensa para trabajos de embutición, remachado, etc.

El cilindro neumático de rotación proporciona un movimiento de rotación gracias a una cremallera unida al vástago o a un elemento rotativo de paletas.

Cilindro neumático de doble efecto.

En el cilindro neumático de doble efecto, el aire a presión entra por el orificio de la cámara trasera y, al llenarla, hace avanzar el vástago, que en su carrera comprime el aire de la cámara delantera que se escapa al exterior a través del correspondiente orificio. En la carrera inversa del vástago se invierte el proceso, penetrando ahora el aire por la cámara delantera y siendo evacuada al exterior por el orificio de la cámara trasera.

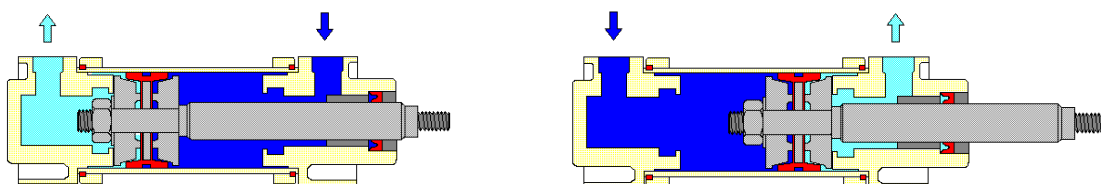


Figura 3.18: Cilindro neumático de doble efecto.

La fuerza ejercida por el aire comprimido lleva al émbolo, en cilindros de doble efecto, a realizar un movimiento de traslación en los dos sentidos. Se dispone de una fuerza útil tanto en la ida como en el retorno.

Los cilindros de doble efecto se emplean especialmente en los casos en que el émbolo tiene que realizar una misión también al retornar a su posición inicial. En principio, la carrera de los cilindros no está limitada, pero hay que tener en cuenta el pandeo y doblado que puede sufrir el vástago salido. También en este caso, sirven de empaquetadura los labios y los émbolos de las membranas.

Cilindros neumáticos de simple efecto.

El cilindro neumático de simple efecto funciona de forma similar exceptuando que la carrera inversa se efectúa gracias a la acción del muelle.

Estos cilindros tienen una sola conexión de aire comprimido. No pueden realizar trabajos más que en un sentido. Se necesita aire sólo para un movimiento de traslación. El vástago retorna por el efecto de un muelle incorporado o de una fuerza externa.

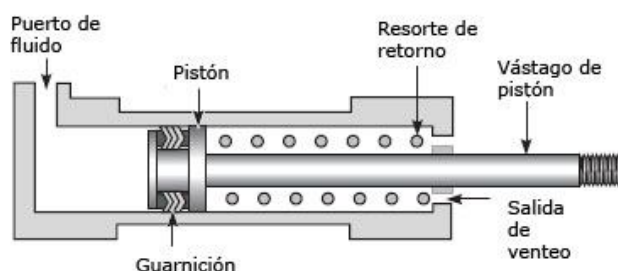


Figura 3.19: Cilindro de simple efecto.

El resorte incorporado se calcula de modo que haga regresar el émbolo a su posición inicial a una velocidad suficientemente grande.

En los cilindros de simple efecto con muelle incorporado, la longitud de éste limita la carrera. Por eso, estos cilindros no sobrepasan una carrera de unos 100 mm.

Se utilizan principalmente para sujetar, expulsar, apretar, levantar, alimentar, etc.

- **Cálculos de los cilindros neumáticos**

Las principales variables a considerar en la selección de los cilindros neumáticos son las fuerzas de los cilindros, la carga el consumo de aire y la velocidad del pistón.

- **Fuerzas del cilindro**

La fuerza del cilindro es una función del diámetro del cilindro, de la presión del aire y el roce del émbolo, que depende de la velocidad del émbolo y que se toma en el momento de arranque. La fuerza que el aire que ejerce sobre el pistón es:

$$F = P_{*aire} * Area\ pistón \quad (3.56)$$

Trabajando en unidades del Sistema Internacional de Unidades (SI), la longitud es el metro (m), la fuerza viene dada un newton (N) y la presión en Pascal (Pa) que es presión ejercida por una fuerza de 1 N (Newton) sobre una superficie de 1m² normal a la misma, o sea N/m². Como el Pascal es una unidad muy pequeña se utiliza el bar equivalente a 1000 000 pascal. Otras equivalencias del bar con unidades de presión son:

$$1\ Bar = 0,987\ atmosfera = 1,02\ \frac{kg}{cm^2} = 1,020\ cm.\ c.\ d.\ a = 750\ mm.\ c.\ dHg$$

Para comodidad del cálculo se utiliza la fuerza de Newton, la presión en bar, el diámetro en mm. Y la superficie de mm². De este modo, la formula anterior pasa a ser:

$$F = P_{aire}(bar) * 100000 * \frac{area\ pistón(mm^2)}{100000} = \frac{P_{aire}(bar)*area\ pistón(mm^2)}{10}$$

Para los cilindros de simple efecto, la fuerza es la diferencia entre la fuerza del aire y la del muelle.

$$F = \frac{P_{aire}*Area\ pistón*}{10} - f_{muelle} = P_{aire} * \frac{\pi*D^2}{40} - f_{muelle} \quad (3.57)$$

Con:

F= Fuerza (newton)

D= Diámetro cilíndrico [mm]

P_{aire}= presión del aire [bar]

F_{muelle}= fuerza muelle [newton]

Los cilindros de doble efecto no cuentan con un resorte para volver a su posición de equilibrio, a si su fuerza no disminuye en la carrera de avance, pero sí en su carrera de retroceso, debido a la disminución del área de émbolo por la existencia de vástago. Las expresiones matemáticas correspondientes son:

$$f_{avance} = P_{aire} * \frac{\pi*D^2}{40} \quad (3.58)$$

$$f_{retroceso} = P_{aire} * \frac{\pi*(D^2-d^2)}{40} \quad (3.59)$$

El rozamiento del pistón en su movimiento es equivalente a un valor comprendido entre el 3% y el 10% de la fuerza calculada.

3.3.2 Ventiladores.

Dentro de la ventilación mecánica hay que considerar al elemento principal que da origen al nombre: ventilador de accionamiento mecánico.

Se define por ventilador un aparato para mover aire y que utiliza un rodete como unidad impulsadora. Un ventilador tiene por lo menos una abertura de aspiración y una abertura de impulsión. Las aberturas pueden tener o no elementos para su conexión al conducto de trabajo.

3.3.2.1 Tipos de ventiladores.

En el mercado pueden encontrarse una amplia gama de ventiladores que satisfagan las necesidades industriales y domesticas más exigentes.

Los ventiladores pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Ventiladores axiales o helicoidales.
- Ventiladores radiales o centrífugos.

3.3.2.2 Ventiladores axiales o helicoidales.

En este tipo de ventiladores el flujo o corriente de fluido gaseoso es paralelo al eje longitudinal o bien, eje de giro de la hélice, y son apropiados para la impulsión o aspiración de grandes volúmenes de aire a baja presión.

Los ventiladores axiales son los más utilizados para ventilación de locales e instalaciones similares, por sus ventajas sobre los centrífugos, presentan una gran simplicidad en su montaje, así como la posibilidad que ofrecen de poder invertir la dirección de giro.

La principal distinción de estos aparatos es la forma de sus palas, las cuales poseen una inclinación con relación a su eje de manera que al girar el mismo efectúa un movimiento semejante al que haría una hélice o tornillo, en virtud del cual el aire se ve forzado a pasar a través de las mismas adquiriendo la velocidad que dichas palas le transmiten.

En la figura 3.20 se muestra una sección de los ventiladores axiales donde se dejan al descubierto las partes esenciales de que constan en estas unidades.

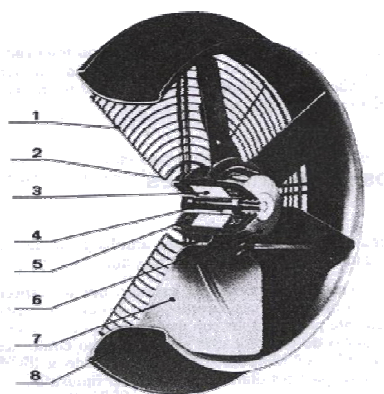


Figura 3.20: 1. Rejilla de protección. 2. Rotor. 3. Estator. 4. Eje. 5. Bobinas. 6. Cubo. 7. Palas. 8. Marco soporte

3.3.2.3 Ventiladores radiales o centrífugos.

El ventilador centrífugo consiste en una rueda o rodete provisto de una serie de alabes o paletas radiales, denominadas *turbinas*, que giran en el interior de una envolvente con figura de espiral, llamada *voluta*, y ésta tiene dos bocas, una de aspiración situada en el eje de la turbina y otra de impulsión abierta tangencialmente con relación al rodete siendo estos recomendados para mover caudales pequeños pero a elevada presión.

Por la acción de la fuerza centrífuga causada por la rotación de la turbina, el fluido (aire, gas o vapor) acarreado por los alabes es despedido hacia la periferia, donde lo recoge la voluta, de sección creciente en forma gradual, y lo conduce al orificio de salida transformando parcialmente la energía cinética en energía estática o presión.

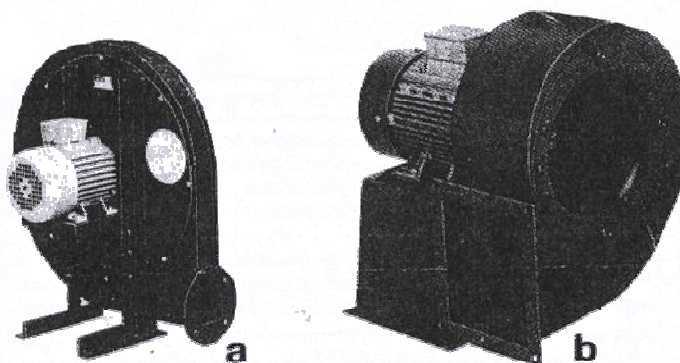


Figura 3.21: Ventiladores Radiales.

El rendimiento de los ventiladores centrífugos es limitado a causa de que el aire impulsado cambia en 90° . Es decir, el fluido entra de manera axial, gira en ángulo recto a través de los alabes y es despedido en disposición radial. Esto provoca pérdidas de energía motivada por el choque y por los remolinos.

Parámetros de los ventiladores

- **Presión Estática (P_e)**, es la que se ejerce en todas las direcciones dentro del conducto, en la misma dirección del aire, en dirección contraria y en dirección perpendicular, sobre las paredes del mismo.

Si el conducto fuese cerrado, como un recipiente con el aire en reposo, también se manifestaría este tipo de Presión.

La Presión Estática puede ser positiva, si es superior a la atmosférica o bien negativa, si está por debajo de ella.

- **Presión Dinámica** (P_d), es la presión que acelera el aire desde cero hasta la velocidad de régimen. Se manifiesta solo en la dirección del aire y viene relacionada con la dirección del mismo, aproximadamente por medio de las formulas:

$$P_d = \frac{v^2}{16} \quad [mm \text{ c. d. a.}] \quad (3.60)$$

$$v = 4\sqrt{P_d} \quad [m/s] \quad (3.61)$$

La Presión Dinámica es siempre positiva.

- **Presión Total** (P_t), es la presión debida al grado de compresión del gas y a su movimiento. Un ventilador recoge un fluido a cierta presión y la libera a una presión más elevada.

$$P_t = P_e + P_d \quad (3.62)$$

- **Potencia interna**, es la potencia que se aprovecha para incrementar la carga del fluido y vencer las pérdidas de gas internas en el rotor y estator.

$$P_i = P * \eta_{ext.} \quad (3.63)$$

Donde:

P_i = Potencia interna [kW]

P = Potencia mecánica del eje [kW]

$\eta_{ext.}$ = Rendimiento externo del ventilador

En términos de caudal (Q) y de presión, la potencia interna de un ventilador viene dada por:

$$P_i = \frac{Q * (p_{t2} - p_{t1})}{1000 * \eta_{int}} \quad (3.64)$$

Donde:

P_i = Potencia interna [N/m^2]

p_{t2} = Presión total a la salida del ventilador [N/m^2]

p_{t1} = Presión total a la entrada del ventilador [N/m^2]

η_{int} = Rendimiento interno del ventilador

- **Potencia absorbida.**

Partiendo de que el rendimiento total (η) de un ventilador es la relación entre la potencia generada o dada al fluido por el ventilador y la potencia absorbida por el mismo, se tiene:

$$P_a = \frac{Q * P_t}{1000 * \eta} \quad (3.65)$$

Donde:

Q = Caudal [m^3/s]

P_t = Presión total generada [N/m^2]

P_a = Potencia absorbida [kW]

La potencia absorbida representa la potencia necesaria para mover el ventilador añadiendo todos los elementos del sistema de accionamiento.

Las leyes anteriores son generadas y muy aproximadas ya que se considera que el rendimiento para todos los ventiladores de una misma familia es el mismo.

- **Velocidad específica.**

Al considerar un ventilador con las siguientes características: caudal Q , presión total P_t , una velocidad de rotación N y un radio del rotor R ; la velocidad específica N_s de este ventilador corresponde a la velocidad que debería girar un ventilador geoméricamente semejante al primero y que proporcionara un caudal con una presión manométrica

$$N_s = \frac{N * Q^{1/2}}{P_t^{3/4}} \quad (3.66)$$

- **Mantenimiento de ventiladores.**

Vamos hacer una breve relación del mantenimiento que precisan los ventiladores ya que los fabricantes suelen facilitar un libro de instrucciones que recoge de una manera más explícita cuanto ha de saberse sobre su mantenimiento.

No obstante, aquí se señalara aquellos pasos a dar para conservar y controlar su eficacia bajo una inspección periódica que evite, por lo menos, una probable avería y que mantenga una actividad continua.

➤ Control diario.

Es recomendable tomar lecturas cada una o dos horas de temperaturas y vibración de cojinetes, presiones y niveles de aceite, así como observar si hay posibles ruidos anormales, funcionamiento de anillos de lubricación y cualquier otra anomalía que sea captada.

➤ Revisión semestral.

Es conveniente revisar la alineación entre el eje del motor y el eje del ventilador, pues ello es siempre causa de desgaste en los cojinetes y de que sea necesaria su reparación o sustitución con una excesiva repetición. De igual manera se procederá a vaciar los depósitos de aceite, llenándolos con aceite nuevo de la calidad recomendada por el fabricante. Al mismo tiempo, se revisará el acoplamiento y determinaremos su engrase si así lo requiriera la situación.

➤ Revisión anual.

Es conveniente plantearse anualmente un examen completo de las partes vitales de los ventiladores, como pueden ser:

- Revisar totalmente los cojinetes, desmontándolos y explorándolos detenidamente para detectar rayas, grietas, arrastre de fricción, etc. También se comprobaran sus tolerancias, por si hubiera existido un desgaste excesivo.
- Las carcasas de los cojinetes deben ser limpiadas y revisadas.
- Desacoplar el motor del ventilador y examinar el estado del acoplamiento, así como la alineación de los ejes.

- También deben revisarse los corta tiros de entrada y salida, comprobando que el cierre sea correcto y su accionamiento suave.
- Debe prestarse particular atención a los alabes del ventilador, por si se hubieran producido depósitos o desgastes y corrosiones anómalas, que incluso podrían afectar al equilibrio del rotor.

En general puede ser conveniente una revisión completa cuando concurren algunas de estas situaciones:

- Descenso acusado del rendimiento del ventilador.
- Excesivo ruido, vibración y temperaturas en los cojinetes.
- Exagerado consumo en el motor de accionamiento.
- Revisión cuando las horas de funcionamiento del equipo lo hagan aconsejables.

Por supuesto que la frecuencia de las revisiones dependerá de la experiencia, tipo de servicio, instrucciones del fabricante y demás consideraciones en que trabajan los ventiladores.

3.4 Sistema de humidificación.

3.4.1 Microaspersores.

Un microaspersor, es un dispositivo mecánico que en la mayoría de los casos transforma un flujo líquido presurizado y lo convierte en rocío, asperjándolo para fines de riego.

Factores físicos condicionantes de la capacidad o las características de un aspersor:

- Ángulo de disparo (siendo 20° el más eficiente)
- Tipo de boquilla (determina el tipo de rocío)
- La presión de salida del conducto presurizado

Los aspersores se calculan en la mayoría de los casos para minutos de trabajo, en los cuales, deberá haber trabajado con los dos siguientes factores:

- El gasto hidráulico medido en litros por segundo (l/s)
- El área a afectar con humedad medida en m²

Estos dos factores arrojarán la unidad de "*lamina de riego*" que se mide en *cm* o *mm* inundados.

Los aspersores limitan su eficiencia por errores en la separación entre ellos, por errores en el cálculo de la lámina de riego, las depresiones topográficas a salvar entre ellos y la fuerza del viento que, para un sistema presurizado a 90 libras por pulgada cuadrada, pierde eficiencia a una velocidad de viento de 15 km/h siendo el sistema de aspersión ineficiente por completo a los 30 km/h de velocidad del viento.

3.4.2 Tipos de aspersores.

En lo que respecta a la construcción de un aspersor estos se pueden dividir en dos tipos principales:

- El aspersor de giro mecánico; éste toma su energía para girar por medio de la presión del líquido previo a su expulsión.
- El aspersor eléctrico; éste es propulsado por medio de la energía eléctrica que estimula a un rotor-embobinado para que se presente el giro, siendo el más común aquel que necesita una fuente de 24 volts corriente alterna para girar, con 0.8 amperes intensidad.

3.4.3 Selección del microaspersor.

El cálculo para seleccionar un microaspersor se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Se debe ubicar el gasto de litros por segundo del aspersor instalado según los datos del fabricante. (Q) para localizar un gasto total (QT) por medio de la fórmula abajo expuesta
- De la misma forma se deberá conocer la distancia total alcanzada (D.T.A) en el líquido asperjado que se podrá interpretar como metros lineales totales calculada en laboratorio ó campo sin resistencia al viento. (A)
- Se ubicará además el ángulo que afecta el área total de influencia de riego que en los aspersores comerciales va de 20° hasta 360°. Los aspersores que no riegan a 360° se conocen como aspersores parciales (part circle) y los que cubren los 360° se conocen como aspersores de giro completo (full circle), se deberá tomar en cuenta que los aspersores parciales van y regresan constantemente humedeciendo su área de influencia el doble de lo que un aspersor completo lo hace. (a)
- El tiempo en segundos que se pretende mantener en operación el aspersor. (T)

Ahora, con estos datos obtenemos el siguiente método para calcular la lámina de riego (L.R.):

$$A = \pi * \left(\frac{D.T.A}{2} \right)^2 * \frac{a}{360} \quad (3.67)$$

$$QT = Q * T \quad (3.68)$$

$$L.R. = \frac{QT}{A} \quad (3.69)$$

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL DE CLIMATIZACIÓN, DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS A TRAVÉS DE SOFTWARE.

4.1 Diseño del Sistema de Automatización.

El concepto de automatización se viene estudiando desde alrededor de la década de los 60. Desde entonces, técnicos, libros y revistas dan una definición demasiado amplia o demasiado simple de este término. Antes de entrar en la definición propiamente dicha de automatización, es conveniente conocer como se ha llegado a esta definición: el hombre ha trabajado, y aún hoy en día lo hace de forma manual, en el cual a través de un esfuerzo y con una herramienta hace un trabajo.

A continuación el hombre se mecanizó, lo que ha sido equivalente a substituir la fuerza muscular del hombre, por una potencia proveniente de una fuerza exterior de energía no humana, a la que se gobierna con poco esfuerzo.

Posteriormente vendría la automatización parcial, en la que el hombre programa sobre la máquina el trabajo a realizar y ésta lo ejecuta.

- **Automatismo:** Ejecuta diversos actos o movimientos sin la participación de la voluntad.
- **Automatización:** Sustitución del hombre en trabajos que antes parcial o totalmente debía realizar por mecanismos que actúan sin poder de decisión y según una planificación previamente programada.

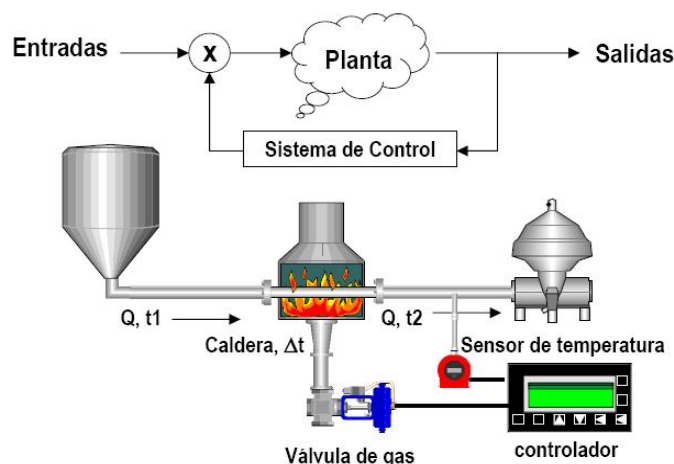


Figura 4.1: Sistema de control.

4.2 Razones para Automatizar.

4.2.1 Reducción de costos.

Al reducir los costos, las empresas se hacen competitivas, con lo que aseguran a los trabajadores sus puestos de trabajo y pueden subsistir. A la automatización se le achaca el hecho de que destruye gran cantidad de “mano de obra”; la realidad se encarga de destruir esta leyenda, pues si destruyen empleos sin cualificar, se crean otros cualificados de mantenimiento, ventas, manipulación y técnicos.

4.2.2 La productividad.

En las piezas realizadas en serie, la cantidad de movimientos, así como la rapidez en ejecutarlos, no se puede comparar al trabajo realizado por el hombre; por otra parte, el hombre está sujeto a la monotonía y a la fatiga y frecuentemente, cuando lleve cierto tiempo trabajando, esto puede ser la causa y dar origen a los accidentes.

4.2.3 La seguridad.

Hay ambientes nocivos, sucios y contaminantes en los que el trabajo es perjudicial para el hombre y que con un manipulador o un robot soluciona el problema. Por otro lado, las condiciones de trabajo pueden interrumpir el proceso productivo, ralentizando o aun parando, con lo que la seguridad económica del trabajador y de la empresa se puede ver seriamente comprometida.

4.3 Niveles de Automatización.

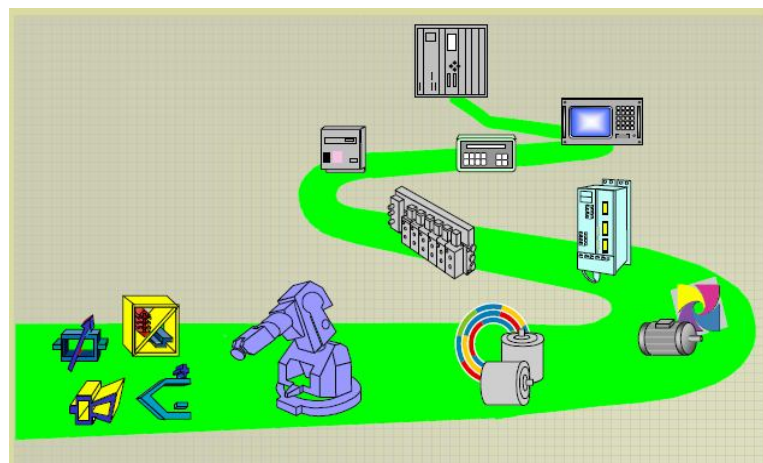


Figura 4.2: Niveles de automatización.

1. Automatización a pequeña escala.
2. Mejorando los sistemas de colocación de piezas.
3. Utilizando a un operario para trabajar con varias máquinas.
4. Control de una serie de operaciones, una serie de parámetros o uno o varios ciclos.
5. Control de una secuencia que se ha programado en ciclo semiautomático o automático.
6. Proceso de trabajo de bucle cerrado con todo el sistema automático de autocorrección.

4.4 Tipos y Clasificación de Automatismos.

Para automatizar una máquina, hay dos soluciones posibles:

- La analógica
- La digital

En el analógico, las informaciones presentan el valor de magnitudes físicas que varían de forma continua (entradas y salidas). Por ejemplo: temperatura y presión. Se miden con aparatos analógicos: termómetros, manómetros, etc.

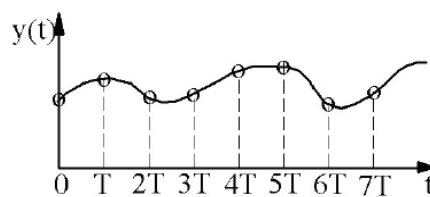


Figura 4.3: Representación de señal analógica.

En los digitales las señales son de naturaleza discreta. Por ejemplo un interruptor eléctrico que abre o cierra un circuito, dejando o no pasar la corriente sin importar el valor de la misma.

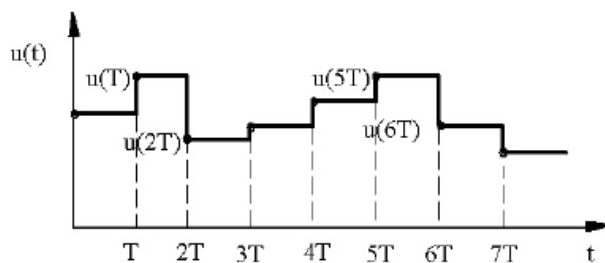


Figura 4.4: Señales digitales.

Para transmitir una información digital es preciso adjudicar un valor a cada una de las dos posibilidades o estados en los que se puede presentar tal magnitud (0 o 1 lógico).

Las máquinas automatizadas, en función de las señales recibidas, se clasifican en máquinas que trabajan en *bucle abierto* y máquinas que trabajan en *bucle cerrado*. En las de bucle abierto, una vez dada la señal de marcha, todas las operaciones se suceden hasta el final sin ninguna variación. La máquina es incapaz, por si misma de modificar sus parámetros, aunque le lleguen otras señales exteriores.

Las máquinas que trabajan en bucle cerrado actúan igual que las anteriores, salvo que cuando la máquina está realizando la secuencia, si le llegan señales exteriores, se contrarrestan con las programadas y rectifican los parámetros de la misma para obtener el fin perseguido.

4.5 El Proyecto de Automatización.

El proyecto en una automatización tiene tres etapas:

1. Estudio del problema real
2. Proyecto
3. Montaje, puesta a punto y mantenimiento

4.5.1 Estudio de problema real.

4.5.1.1 Estudio del proceso productivo.

Se debe estudiar lo que existe (cómo funciona) y qué objetivos se desean, es decir qué va hacer la máquina o sistema. Realizando un pliego de condiciones, separando la parte operativa de la de mando, se estudian cada una de las funciones.

4.5.1.2 La tecnología.

Además de las consideraciones del problema, intervienen las variables propias del automatismo, así como las condiciones ambientales, como limpieza, peligro de explosiones, temperatura, además de condiciones mecánicas: vibraciones, fuerzas presiones, y condiciones económicas.

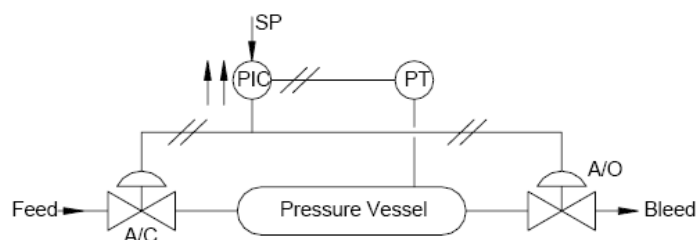


Figura 4.5: Diagrama de bloque.

4.5.2 Proyecto.

4.5.2.1 Diseño del proyecto.

Algunas opciones para realizar el funcionamiento (secuencia) pueden ser:

- Método intuitivo.
- Métodos secuenciales: paso a paso, cascada, secuenciadores, programador, etc.
- Método lógico.
- Por autómatas.
- Por ordenador.

4.5.2.2 Esquemas.

Una vez que se ha elegido la técnica, se debe realizar el esquema correspondiente que puede ser: neumático, hidráulico, eléctrico, electrónico, etc.

4.5.2.3 Materiales.

Finalmente se deben definir una o varias marcas comerciales para el abastecimiento de los aparatos y mecanismos necesarios. En este caso hay que hacer un profundo estudio comparativo sobre de lo relativo a la relación precio-calidad.

4.5.3 Montaje, puesta a punto y mantenimiento.

Una vez seleccionada la máquina o la instalación, se debe poner cuidado en el lugar de ubicación y en el montaje, teniendo muy en cuenta la conexión con el resto de la fábrica, manutención de materias primas, normas de seguridad y otras condiciones.

Se debe prever la puesta a punto, pudiéndose separar en:

- La máquina o el automatismo.
- La regla es, aún estando funcionando.
- Facilitar las reparaciones rápidas. Las modificaciones y ampliaciones necesarias para su puesta al día según vayan surgiendo las necesidades.
- Actualización de sistemas de mantenimiento preventivo, predictivo y de calidad (TPM).

En resumen, las exigencias actuales de los usuarios de maquinaria y automatismo son:

- **Flexibilidad**, para que para que puedan adaptarse y programarse para la realización de gamas de productos lo más amplia posible, con tiempos de preparación y reparación lo más cortos posibles.
- **Fiables**, garantizando la máxima disponibilidad en la producción.
- **Rápidas y precisas**, con ciclos cortos y disponiendo de los medios necesarios para garantizar el producto fabricado.
- **Fáciles de manejar**, requiriendo un tiempo de aprendizaje lo más corto posible.
- **Económicas**, para amortizar la inversión lo más pronto posible, con un mantenimiento mínimo y unos costos reducidos.
- **Integrables**, que permitan integrar la máquina dentro de un conjunto de la planta y que faciliten las tareas de supervisión y control de la producción, seguimiento de las órdenes de fabricación, seguimiento de las órdenes de fabricación, control de costos, incidencias de mantenimiento, etc.

4.6 Composición de un Sistema Automatizado.

Un sistema automatizado está compuesto de una *parte de mando* (o control) y de una *parte operativa* (o potencia).

La parte operativa, formada por los actuadores que son aquellos que realizan el trabajo propiamente dicho, mediante la aplicación de movimientos, fuerzas, presiones y otros. La parte operativa puede estar conformada por los siguientes actuadores:

- Cilindros neumáticos
- Cilindros hidráulicos
- Motores neumáticos
- Motores hidráulicos
- Motores eléctricos
- Válvulas

La parte de mando es aquella que dirige u ordena las acciones de la parte operativa, puede ser de las siguientes naturalezas:

- Mando neumático total.
- Mando eléctrico o de contactos.
- Autómatas programables.
- Células lógicas.
- Secuenciadores.
- Células fluídicas.

Por tanto las técnicas empleadas actualmente en las máquinas automatizadas son:

1. **Neumáticas:** Empleo de aire comprimido.
2. **Hidráulicas:** Empleo de aceites o fluidos ininflamables con presión hidráulica.
3. **Mecánicas:** Empleo de engranajes, levas, otros mecanismos.
4. **Eléctricas:** Basada en la técnica de relés, y que también puede utilizar tensiones e intensidades elevadas, dando lugar a sistemas electromecánicos.
5. **Electrónicas:** Basada en elementos de estado sólido, tales como: transistores, triacs, circuitos integrados, microprocesadores y microcontroladores, empleando intensidades y tensiones pequeñas. Son de gran empleo y utilización para el mando
6. **Fluídicas:** Al carecer de elementos móviles, estas casi no tienen averías, no se dejan influenciar por campos eléctricos o magnéticos, ni por el ruido o las vibraciones. En la actualidad prácticamente está en desuso.

La unión de la parte operativa y del mando podría ser:

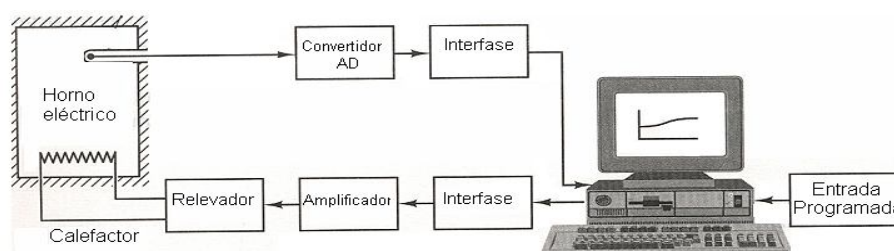


Figura 4.6: Diagrama de interfases.

- **Periféricos de entrada:** permiten la entrada de la información y de los datos necesarios. En este grupo están los sensores y transductores.
- **Unidad de tratamiento de la información:** autómatas, ordenadores y secuenciadores.
- **Periféricos de salida:** señales que salen de la unidad de tratamiento de la información y que pueden ser neumáticas, eléctricas y electrónicas.

4.7 Tecnologías Cableadas y Programadas.

La tecnología cableada se realiza a base de uniones físicas de los elementos que componen la parte de control; estos elementos pueden ser neumáticos, eléctricos y electrónicos. La forma en que se establecen dichas uniones es por experiencia o por un planteamiento teórico empleando las ecuaciones lógicas. Este tipo de tecnología está en franco retroceso y tiene los siguientes inconvenientes:

- Ocupa mucho espacio.
- Exige el montaje y el desmontaje de elementos para cambiar secuencias.
- En máquinas complicadas no es un procedimiento práctico.
- Exige un gran mantenimiento.
- Salvo en circuitos sencillos es cara.

Las tecnologías cableadas pueden ser:

- Por relé.
- Por funciones lógicas.
- Por secuenciadores.

En la tecnología programada, la parte de control se realiza mediante la confección de un programa residente en la memoria de una unidad de control. Dentro de la tecnología programada, los fabricantes de tecnologías de procesos ofrecen múltiples soluciones.

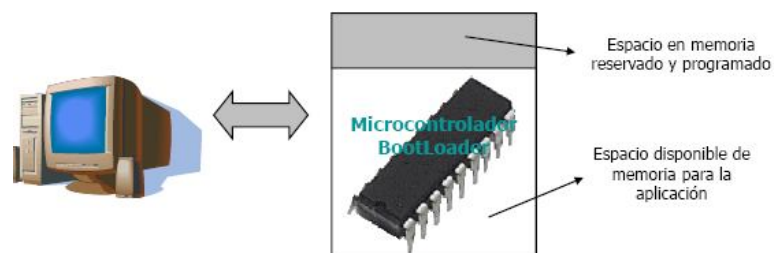


Figura 4.7: Microcontrolador.

Tal como los autómatas programables diseñados para el control de múltiples procesos de tipo combinatorio y secuencial en tiempo real y en ambiente industrial. Actualmente permiten realizar un control analógico y resolver funciones de regulación.

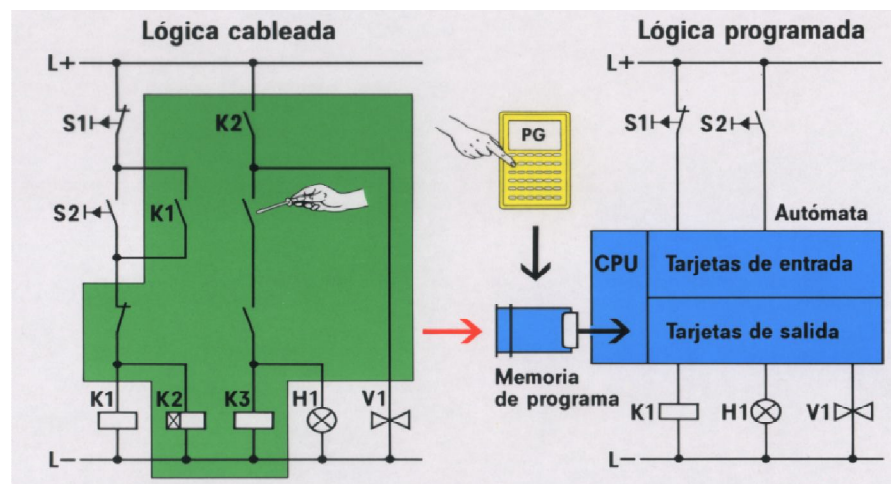


Figura 4.8: Lógica de circuitos.

O bien, como los ordenadores de proceso provistos de convertidores del tipo analógico-digital para cerrar múltiples lazos de regulación y que puedan programarse en lenguajes de alto nivel. Estos realizan funciones en tiempo real de adquisición de datos, control de proceso y supervisión del mismo.

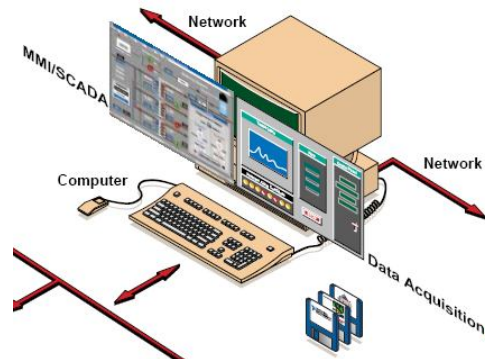


Figura 4.9: Adquisición de datos.

O finalmente, los sistemas de control distribuido basados en una estación central que supervisa todo el proceso, almacena datos, presenta los resultados y en una o varias estaciones remotas situadas en el área de proceso que realizan los algoritmos de control. De este modo, las estaciones remotas están constituidas por reguladores autónomos, autómatas programables u ordenadores de proceso que se comunican con la estación central.

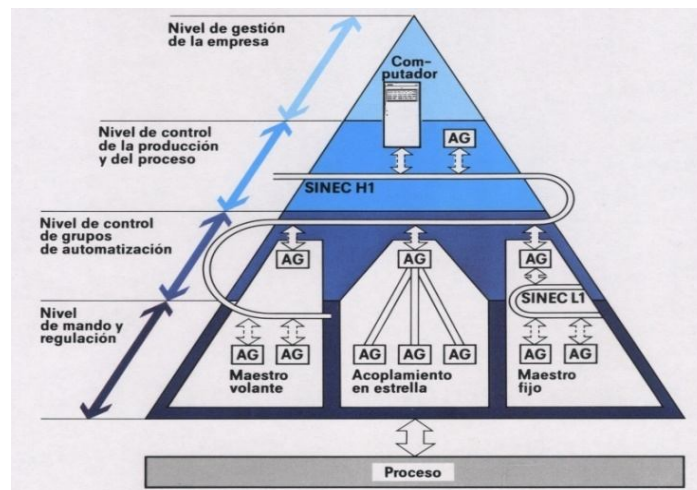


Figura 4.10: Pirámide de control.

La utilización de computadores tiene una serie de inconvenientes, como son:

- Construcción poco apta para el entorno industrial.
- Necesidad de un personal especializado.
- Elevado costo del equipo.

Estas desventajas se han ido superando en los últimos años con relativa facilidad. Sin embargo el autómatas programable fue concebido fundamentalmente para superar estos inconvenientes, siendo en muchos casos la opción más adecuada para implantar el control, por lo menos, en los niveles más bajos (ceranos al campo), como en el caso de una estructura de control jerarquizada.

4.7.1 Comunicación Serial.

Un dispositivo serial utiliza un protocolo de comunicación que es estándar para casi cualquier PC. Además, no hay que confundirlo con el bus serial universal (USB). La mayoría de las computadoras incluyen dos puertos seriales RS-232. Serial es también un protocolo de comunicación para instrumentación en muchos dispositivos, y muchos dispositivos compatibles GPIB vienen con un puerto RS-232. Además, es posible usar la comunicación serial para la adquisición de datos en conjunto con un dispositivo de muestreo remoto. El concepto de comunicación serial es simple. El puerto serial envía y recibe bytes de información, un bit a la vez. Aunque esto es más lento que la comunicación paralela, la cual permite la transmisión entera de bytes de una sola vez, el proceso es más sencillo y puede ser utilizado en distancias grandes. Por ejemplo, las especificaciones IEEE 488 para comunicación paralela definen que el cableado entre equipos no debe ser mayor de 20m en total, con no más de 2m entre dos dispositivos cualquiera; en comunicación serial pueden extenderse hasta 1200m.

Típicamente, los ingenieros utilizan serial para transmitir datos ASCII. Completan la comunicación utilizando tres líneas de transmisión – referencia, transmisión, y recepción. Debido a que serial es asíncrono, el puerto puede transmitir datos en una línea mientras recibe datos en otra. Otras líneas están disponibles para el intercambio de pulsos de sincronización pero no son requeridas. Las características seriales importantes son: tasa de baudios, bits de datos, bits de paro, y paridad. Para que dos puertos se comuniquen, estos parámetros deben igualarse:

La tasa de baudios es una unidad de medición para comunicación que indica el número de bits transferidos por segundo. Por ejemplo, 300 baudios son 300 bits por segundo. Cuando los ingenieros se refieren a un ciclo de reloj, se refieren a la tasa en baudios, así que si el protocolo indica una razón en baudios de 4800, el reloj está ejecutándose a 4800 Hz. Esto quiere decir que el puerto serial está muestreando la línea de datos a 4800 Hz. Las tasas de baudios para líneas telefónicas son 14400, 28800, y 33600. Tasas de baudios mayores a estas son posibles, pero reducen la distancia disponible para la

separación de dispositivos. Se utilizan estas tasas de baudios para comunicación allí donde los dispositivos están localizados entre sí, como sucede típicamente con los dispositivos GPIB.

Los bits de datos son mediciones de los bits de datos actuales en una transmisión. Cuando una computadora envía un paquete de información, la cantidad de datos actuales puede ser que no complete 8 bits. Los valores estándar para los paquetes de datos son de 5, 7, y 8 bits. El marco que el usuario elija dependerá de la información que está transfiriendo. Por ejemplo, el ASCII estándar tiene valores de 0 a 127 (7 bits). El ASCII extendido utiliza de 0 a 255 (8 bits). Si los datos que el usuario está transfiriendo se encuentran en texto simple (ASCII estándar), enviar 7 bits de datos por paquete, es suficiente para la comunicación. Un paquete se refiere a la transferencia de un sólo byte, incluyendo los bits de inicio/paro, bits de datos, y paridad. Debido a que el número de bits actuales depende del protocolo seleccionado, se puede utilizar el término “paquete” para cubrir todas las instancias.

Los bits de paro son utilizados para señalar el término de comunicaciones en un paquete sencillo. Los valores típicos son 1, 1.5 y 2 bits. Debido a que los datos se encuentran sincronizados a través de las líneas y de que cada dispositivo tiene su propio reloj, es posible que los dos dispositivos pierdan sincronización. Por lo tanto, los bits de paro no solamente indican el final de una transmisión, sino también le dan un margen de error a las velocidades de reloj de la computadora. A medida que se utilizan más bits para bits de paro, mayor es la oportunidad para sincronizar los diferentes relojes, pero más lenta es la razón de transferencia de datos.

Paridad es una forma de revisión de error simple utilizada en la comunicación serial. Existen cuatro tipos de paridad – pares, impares, marcados y espaciados. También se pueden utilizar los que excluyen de paridad. Para la paridad impar y par, el puerto serial fija el bit de paridad (el último bit después de los bits de datos) a un valor que asegura que la transmisión tenga un número par o impar de bits lógicos. Por ejemplo, si el dato es 011, para la paridad par, el bit de paridad es 0 para mantener el número par de bits altamente lógicos. Si la paridad es impar, el bit de paridad es 1, resultando en 3 bits altamente lógicos. La paridad marcada y espaciada no revisa específicamente los bits de datos, simplemente fija la paridad de los bits como alta para la paridad marcada o baja para la paridad espaciada. Esto permite que el dispositivo receptor conozca el estado de un bit para así determinar si el ruido está corrompiendo los datos o si los relojes del dispositivo de transmisión y recepción se encuentran fuera de sincronización.

4.7.2 Comunicación Estándar RS232.

RS-232 (Estándar ANSI/EIA-232) es el conector serial que se encuentra en las PCs compatibles con IBM. Los ingenieros lo utilizan con diversos propósitos, como el de conectar periféricos, impresoras, o módems, así como para la instrumentación industrial. Debido a la línea del driver y a las mejoras en el cableado, las aplicaciones comúnmente incrementan el desempeño del RS-232 más allá de la distancia y velocidad listadas en el estándar. El RS-232 está limitado a conexiones punto a punto entre puertos seriales y dispositivos PC. Es posible puede utilizar el hardware RS-232 para comunicaciones seriales en distancias de hasta 50 pies.

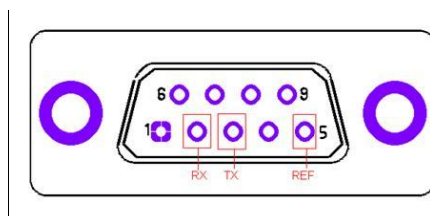


Figura 4.11: Conector DB-9.

Funciones del Conector

Datos: Tx en pin 3, Rx en pin 2

Intercambio de Pulsos de Sincronización: RTS en pin 7, CTS en pin 8, DSR en pin 6,

DCD en pin 1, DTR en pin 4

Común: Com en pin 5

Otros: RI en pin 9

4.7.3 Intercambio de Pulsos de Sincronización.

Este método de comunicación RS-232 permite una conexión sencilla de tres líneas – Tx, Rx, y tierra. Sin embargo, para que los datos sean transmitidos, ambos lados deben presentar los datos de forma sincronizada a la misma tasa de baudios. Aunque este método es suficiente para algunas aplicaciones, se encuentra limitado para resolver problemas tales como los receptores sobrecargados. Aquí es donde los seriales tipo intercambio de pulsos de sincronización (handshake) pueden ayudar. Hay tres formas de intercambio de pulsos de sincronización que son las más populares con RS-232: el intercambio de pulsos de

sincronización por software, el intercambio de pulsos de sincronización por hardware y el Xmodem.

4.7.4 Intercambio de Pulsos de Sincronización por Software.

Este método utiliza bytes de datos tales como caracteres de control de manera similar a la que GPIB utiliza las cadenas de comando. También involucra el conjunto de tres líneas de Tx, Rx, y tierra porque los caracteres de control son enviados por una línea de transmisión al igual que los datos regulares. Con la función SetXMode, se pueden habilitar o deshabilitar el uso de dos caracteres de control XON y XOFF. El receptor de datos envía estos caracteres para pausar el transmisor durante la comunicación.

La mayor deficiencia de este método que se debe tener en cuenta es que los decimales 17 y 19 ya no se encuentran disponibles para los valores de datos. Esto generalmente no afecta en transmisiones ASCII debido a que estos valores no tienen caracteres; sin embargo, si la transmisión se hace de forma binaria, es muy probable se puedan transmitir transmita estos valores como datos y la transmisión fallaría.

4.7.5 Intercambio de Pulsos de Sincronización por Hardware.

Este método utiliza tanto las líneas de hardware, así como las líneas Tx y Rx que trabajan en conjunto, las líneas RTS/CTS y DTR/DSR también. Una es la entrada y la otra, la salida.

El primer conjunto de líneas son las RTS (Request to Send) y las CTS (Clear to Send). Cuando un receptor está listo para la recepción de datos, se acerca a la línea RTS, indicándole que está listo para recibir dichos datos. Esto es leído por el remitente en la entrada CTS, indicando que el envío de datos puede realizarse.

El siguiente conjunto de líneas son las DTR (Data Terminal Ready) y las DSR (Data Set Ready). Los ingenieros utilizan estas líneas básicamente para la comunicación de módems porque permiten que el puerto serial y el módem comuniquen entre sí su estatus. Por ejemplo, cuando el módem está listo para que la PC envíe datos, avisará a la línea DTR, indicando que se ha hecho una conexión a través de las líneas telefónicas. Esta información es leída a través de la línea DSR, y la PC puede empezar a enviar datos. La regla general de mayor peso es que se usan las líneas DTR/DSR para indicar que el sistema está listo para que se efectúe la comunicación y las líneas RTS/CTS sirven para paquetes individuales de datos.

En LabWindows/CVI, la función SetCTSMoDe habilita o deshabilita el uso del intercambio de pulsos de sincronización por hardware. Si el modo CTS está habilitado, LabWindows/CVI utiliza las siguientes reglas:

Cuando la PC envía datos:

La librería RS-232 debe detectar que la línea CTS no tiene la capacidad suficiente para recibir los datos que se enviarán.

Cuando la PC recibe datos:

Si el puerto ha sido abierto y la entrada tiene el espacio para recibir datos, la librería eleva el RTS y el DTR. Si el puerto de entrada se encuentra a 90 por ciento de su capacidad, la librería baja el RTS y eleva el DTR. Si el puerto de entrada se encuentra prácticamente vacío, la librería eleva el RTS y mantiene alto el DTR. Si el puerto se cierra, la librería baja tanto el RTS como el DTR.

4.7.6 Intercambio de Pulsos de Sincronización XModem.

Aunque este protocolo es muy común en la comunicación moderna, es posible utilizar el protocolo XModem entre dos dispositivos directamente siempre y cuando utilicen ambos el mismo protocolo. En LabWindows/CVI, la implementación del XModem actual no está a la vista del usuario. Siempre y cuando la PC esté conectada a otro dispositivo que utiliza el protocolo XModem, se pueden utilizar las funciones XModem de LabWindows/CVI para transferir archivos de un sitio a otro. Las funciones son XModemConfig, XModemSend, y XmodemReceive.

XModem utiliza un protocolo basado en los siguientes parámetros: start_of_data, end_of_trans, neg_ack, ack, wait_delay, start_delay, max_tries, y packet_size. Ambos lados deben acordar en estos parámetros, y XModem tiene una definición estándar de éstos. Sin embargo, se pueden modificar estos parámetros con la función XModemConfig dentro de LabWindows/CVI para cumplir con su requerimiento. También es posible utilizar estos parámetros en XModem haciendo que el receptor envíe el carácter neg_ack. Esto informa al remitente que se está listo para la recepción de datos. El receptor intenta nuevamente con el tiempo start_delay, y entre estos dos intenta alcanzar ya sea max_tries o recibir start_of_data del remitente. Si alcanza max_tries, le informa al usuario que la comunicación con el remitente no pudo llevarse a cabo. Si recibe del remitente el start_of_data, lee el paquete de información que le sigue. Este paquete contiene el número de paquete, el

complemento del número del paquete como un error marcado, el paquete de datos actual o bytes packet_size, y un resumen de los datos para verificar si existe algún error. Después de leer los datos, el receptor llama a la función wait_delay para después enviar los ack de vuelta al remitente. Si el remitente no lo recibe, regresa el paquete de datos max_tries hasta que éste lo reciba. Si no se logra llevar a cabo esto, se le informa al usuario que ha ocurrido un error en la transferencia de archivos.

Debido a que el remitente debe enviar los paquetes de datos en forma de bytes packet_size, el remitente rellena el paquete de datos con ASCII NUL (0) bytes si no hay suficientes datos que llenen hasta el último espacio del paquete. Esto puede ocasionar que el archivo recibido sea más grande que el original. No se aconseja utilizar el XON/XOFF con el protocolo XModem, porque el número de paquete de la transferencia XModem puede incrementar los valores de los caracteres de control al XON/OFF, el cual podría causar una interrupción en la comunicación.

4.8 **Pirámide de Automatización.**

El empleo de computadores y autómatas programables como herramienta esencial de tratamiento de la información es habitual, y la implantación de redes de comunicación internas, es necesaria, desde el punto de vista de los sistemas físicos que deben soportar toda la funcionalidad necesaria. La figura muestra de manera genérica estas interrelaciones y su división en diferentes niveles.

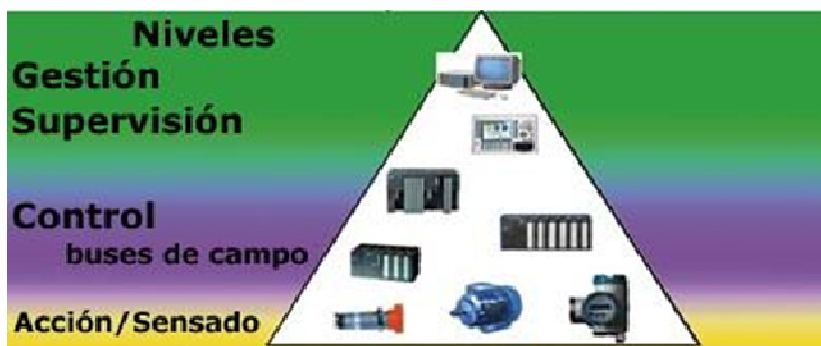


Figura 4.12: Niveles de gestión.

4.8.1 **Nivel de Acción/sensado (nivel de célula).**

Este, también es llamado nivel de instrumentación y está formado por los elementos de medida (sensores) y los de mando (actuadores) distribuidos en una línea de producción. Estos son los elementos más directamente relacionados con el proceso productivo ya que los actuadores son los encargados de ejecutar las órdenes de los elementos de control para

modificar el proceso productivo (por ejemplo, un motor de mezcla de materias primas) y los sensores son los que miden las variables en el proceso de producción (por ejemplo, temperatura de cocción). Así, más ejemplos de sensores son aquellos que permiten medir el nivel de líquidos, caudal, temperatura, presión, posición, etc. Como ejemplos de los actuadores se tienen los motores, válvulas, calentadores, taladros, cizallas, etc. Como característica adicional, los sensores y actuadores suelen ser dispositivos que necesitan ser controlados por otros elementos.

4.8.2 Nivel de Control (nivel de campo).

En este nivel se sitúan los elementos capaces de gestionar los actuadores y los sensores del nivel anterior tales como autómatas programables o equipos de aplicación específica basados en microprocesadores como robots, máquinas herramienta o controladores de motor. Estos dispositivos permiten que los actuadores y sensores funcionen de forma conjunta para ser capaces de realizar el proceso industrial deseado. Son dispositivos programables, de tal modo que es posible ajustar y personalizar su funcionamiento según las necesidades de cada caso. Los dispositivos de este nivel de control junto con los del nivel inferior de acción/sensado poseen una entidad suficiente como para realizar procesos productivos por sí mismos. De hecho, una gran cantidad de procesos industriales están basados exclusivamente en estos dos niveles, de tal modo que un proceso productivo completo se desglosa en subprocesos de este tipo sin que exista un intercambio de información entre ellos (excepto algunas señales de control para sincronizar el fin de un proceso con el inicio del siguiente).

Un ejemplo de este tipo de sistemas sería un proceso de ensamblado de un volante dentro de un vehículo donde es necesario tener el coche bien situado, y entonces activar un brazo que inserta el volante sin tener en cuenta el resto de los componentes o el estado del vehículo, es decir que este tipo de sistemas realizaría un proceso independiente y aislado. A pesar de tratarse de procesos aislados, esto no implica que no se empleen buses de comunicación, ya que para aquellos procesos que requieran de un gran número de sensores y de actuadores, es recomendable la utilización de buses de campo para leer el estado de los sensores, proporcionar señales de control a los actuadores y conectar diferentes autómatas programables para compartir información acerca de la marcha del proceso completo. También es importante que estos dispositivos posean unas buenas características de interconexión para ser enlazados con el nivel superior (supervisión), generalmente a través de buses de campo.

4.8.3 Nivel de Supervisión (nivel de planta).

Todos los dispositivos de control existentes en planta es posible monitorizarlos si existe un sistema de comunicación adecuado capaz de crear una comunicación entre estos elementos y, otro tipo de dispositivos no dedicados al control sino para la gestión y supervisión, y que habitualmente están constituidos por computadores o sistemas de visualización tales como pantallas industriales. En este nivel es posible visualizar cómo se están llevando a cabo los procesos de planta, y a través de entornos SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) poseer una “imagen virtual de la planta” de modo que ésta se puede recorrer de manera detallada, o bien mediante unas pantallas de resumen que puedan disponer de un “panel virtual” donde se revelen las posibles alarmas, fallos o alteraciones en cualquiera de los procesos que se llevan a cabo. Mediante este tipo de acciones resulta inmediato disponer de acceso inmediato a cada uno de los sectores de la planta. Para ello, resulta imprescindible la conexión con el nivel de control mediante buses de campo de altas prestaciones, pues a veces resulta necesaria la transmisión de importantes cantidades de datos y la conexión con un gran número de elementos de control.

4.8.4 Nivel de gestión (nivel de fábrica).

Dado que el nivel de supervisión ya está constituido principalmente por computadores, el nivel de gestión también lo estará ya que se encuentra más alejado de los procesos productivos. De hecho, en este nivel no es relevante el estado y la supervisión de los procesos de planta, en cambio, sí adquiere importancia toda la información relativa a la producción y su gestión asociada, es decir que, a través del nivel de supervisión es posible obtener información de todos los niveles inferiores de una o varias plantas. Un ejemplo de la utilidad de la comunicación de los niveles inferiores con el nivel de gestión es la obtención de información en este nivel acerca de las materias primas consumidas, la producción realizada, los tiempos de producción, los niveles de almacenado de productos finales, etc.

Con esta información, los gestores de la empresa pueden extraer estadísticas acerca de los costes de fabricación, el rendimiento de la planta, las estrategias de ventas para liberar posibles excesos de producto almacenado, y en general, pueden disponer de datos que permitan a los niveles directivos la toma de decisiones conducentes a una mejor optimización en el funcionamiento de la planta, todo ello de una manera rápida y flexible dada la rapidez del acceso a los datos de fabricación. Las comunicaciones con este nivel de la pirámide industrial ya no necesitan ser de tipo estrictamente industrial, es decir, muy robustas, de corto tiempo de acceso, etc. sino que ahora los datos que se transmiten son

informes que pueden tener un tamaño medio-grande, por lo que habitualmente se emplean redes de comunicación menos costosas como redes Ethernet que se adaptan mejor al tipo de datos que se desean transmitir y además permiten la comunicación eficaz entre los diferentes computadores del mismo nivel de gestión (compras, departamento comercial, recursos humanos, dirección, diseño, etc.).

4.9 SELECCIÓN DEL SOFTWARE

Se ha desarrollado el programa de acuerdo a una previa selección del software más adecuado y funcional para este caso. Las alternativas a estudiar son las siguientes:

- MATLAB
- WINLAB
- LabVIEW

4.9.1 MATLAB

Abreviatura de *MATrix LABoratory*, "laboratorio de matrices", es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X.

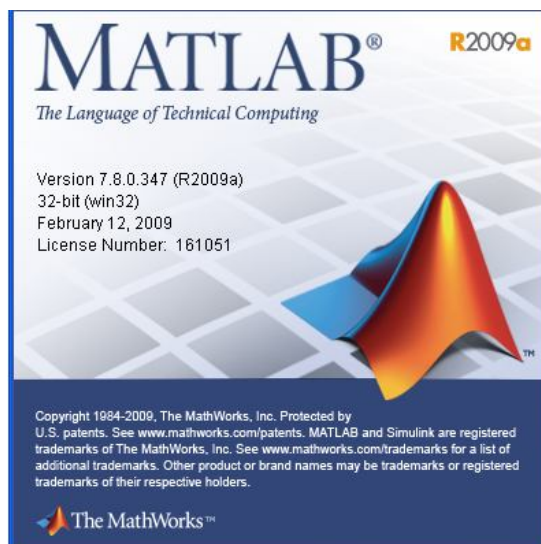


Figura 4.13: Matlab.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros

dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las *cajas de herramientas (toolboxes)*; y las de Simulink con los *paquetes de bloques (blocksets)*.

Ventaja

- Es un programa utilizado en universidades para cálculos de elementos finitos, matrices de gran tamaño, elaboración de diagramas de bloque y más orientado al Álgebra Lineal y Análisis Numérico.

Desventajas

- Su licencia original es costosa.
- El lenguaje de programación es complejo.
- Necesita herramientas adicionales para hacer el sistema de control.

4.9.2 WINLAB

Wireless Information Network Laboratory, es un programa de laboratorio dedicado a la comunicación sin cables.

WINLAB fue fundada en 1989 por el Prof. David Goodman, en sus primeros años fue usada en la telefonía celular analógica.

Ventajas

- Es un programa moderno que permite la comunicación sin cables.

Desventajas

- El software no tiene versión en español.
- La licencia de este software de control es muy costosa.

4.9.3 LabVIEW

LabVIEW es el acrónimo de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y no muy compleja.

Es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, y sus primeros productos eran dispositivos para el bus de instrumentación GPIB salió al mercado por primera vez en 1986 con el nombre de LabVIEW 1.0 para Macintosh (los ordenadores más populares en aquella época que ya disponían de interfaz grafica) y en 1990 la versión 2.0. Para WINDOWS habría que esperar a septiembre de 1992. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y Linux. La versión actual 8.6, publicada en Agosto de 2008, cuenta también con soporte para Windows Vista.



Figura 4.14: LabVIEW.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida. Un lema tradicional de LabVIEW es: *"La potencia está en el Software"*, que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más patente. Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante -tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, instrumentos y otro Hardware- como de otros fabricantes.

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

Ventajas

- Existe información en español sobre LabVIEW.
- Su lenguaje es más manejable.
- La Facultad de Mecánica cuenta con este software con licencia.

Desventajas

- La compatibilidad es únicamente con productos de la NATIONAL INSTRUMENT.

Entorno LabVIEW

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica. Originalmente este programa estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Por este motivo los programas creados con LabVIEW se guardan en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa instrumento virtual (*virtual instruments*). También relacionado con este concepto se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc. y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

- **Panel Frontal**, es la que verá el usuario, suele tener fondo gris.
- **Diagrama de Bloques**, es donde se realizará la programación y es de fondo blanco.

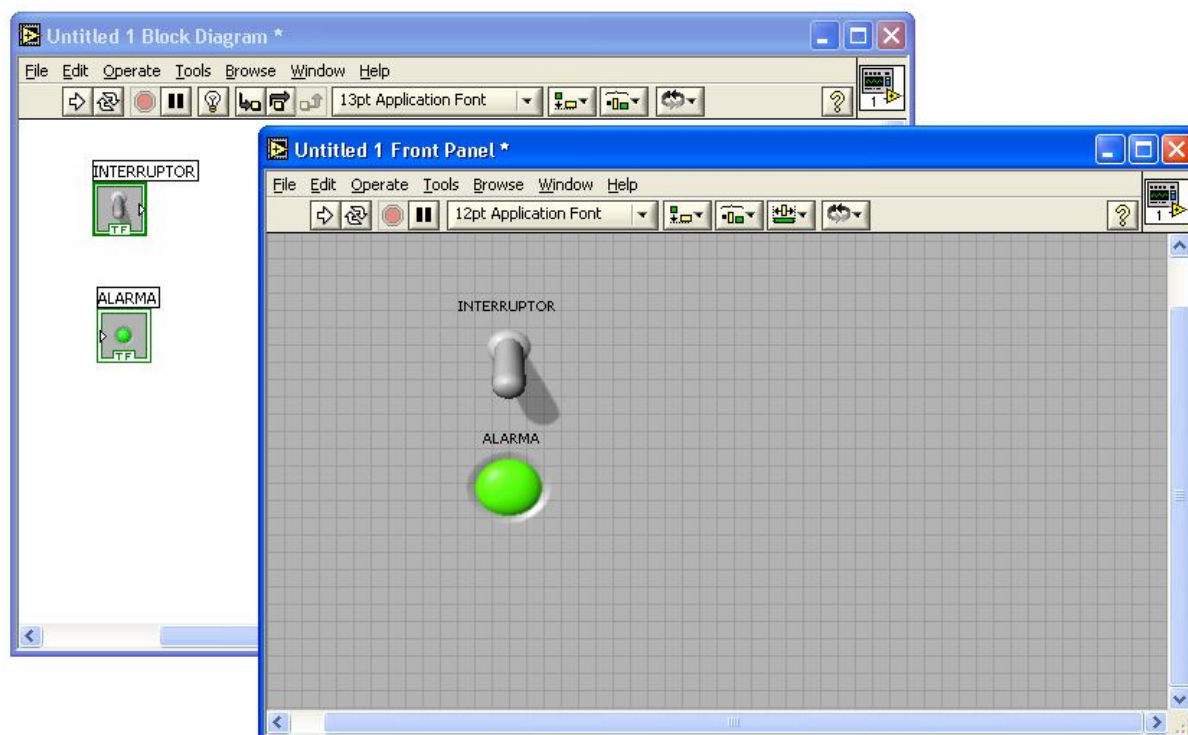


Figura 4.15: Paneles de LabVIEW.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

La finalidad del presente trabajo es diseñar un sistema de climatización, para invernaderos de cultivo de flores, a través de un software (LabVIEW); motivo por el cual no se profundiza en costos, pero para tener una clara idea de lo que costaría realizar este proyecto se tiene los costos de materiales y los costos ingenieriles.

5.1 Costos de los Sistemas de Calefacción.

5.1.1 Costos por Combustión.

Cantidad	Detalle	Descripción	V. Unitario en dólares	V. Total en dólares
4	unidad	SERPENTIN CONDENSADORES UNIDAD DE 2H CB-204 THERMO-COIL	206.00	824.00
4	unidad	MOTOR VENTILADOR 1EJE 1/4HP 1075RPM 1 SE-3728 SMART ELECTRI	60.00	240.00
4	unidad	SOPORTE ABRAZADERA PARA MOTOR/ASPA CW CLIMATECONTRO	25.00	100.00
				1164.00

5.1.2 Costos por Resistencias Eléctricas.

Cantidad	Detalle	Descripción	V. Unitario en dólares	V. Total en dólares
4	unidad	EXTRACTOR ASPA DE ACERO 18" 1/2HP 3000CF MONTERO	280.00	1 120.00
8	unidad	Resistencia Blindad Especial: 132 AS-204 Cu	260.00	2 080.00
100	metros	Conductor Calibre 8	0.80	80.00
				3 80.00

5.1.3 Costos por Agua Caliente

Cantidad	Detalle	Descripción	V. Unitario en dólares	V. Total en dólares
1	unidad	BOMBA CENTRIFUGA DE RECIRCULACION	611.05	611.05
38	unidad	TUBO GALV. ASTM A-120 TIPO "T" DE 2" x 6m.	38.30	1 455.40
36	unidad	UNION GALV. CLASE 150 DE 2"	4.22	151.92
				218.37

5.2 Costos de los Sistemas de Enfriamiento.

5.2.1 Costos por Ventanas Corredizas.

Cantidad	Detalle	Descripción	V. Unitario en dólares	V. Total en dólares
50	unidad	perfil MALLERO x 6m	9.00	450.00
8	unidad	perfil F x 6m	6.00	48.00
32	unidad	BIMBA USA MICROCILINDRO 2E DIAM 16 x 100mm CARR PIVOTE	94.06	3009.92
16	unidad	PNEUMAX MICROCILINDRO 2E DIAM 16 x 50mm CARR	45.43	726.88
24	unidad	MAC USA ELECTROVALVULA 3/2 1/4" SERIE 100	68.50	1644.00
96	unidad	CONECTOR CODO INST 6mm x M5	1.48	142.08
96	unidad	CONECTOR RECTO INST 6mm x 1/4	1.25	120.00
100	unidad	TUBO DE POLIURETANO 6mm D EXT	0.78	78.00
1	unidad	COMPRESOR 1HP 13GL 120PSI SCHU	467.83	467.83
				6686.71

5.2.2 Costos por Ventiladores.

Cantidad	Detalle	Descripción	V. Unitario en dólares	V. Total en dólares
4	unidad	MOTOR VENTILADOR 1EJE 1/4HP 1075RPM 1 SE-3728 SMART ELECTRI	60.00	240.00
4	unidad	SOPORTE ABRAZADERA PARA MOTOR/ASPA CW CLIMATECONTRO	25.00	100.00
				340.00

5.3 Costos del Sistema de Humidificación.

Cantidad	Detalle	Descripción	V. Unitario en dólares	V. Total en dólares
1	unidad	Bomba eléctrica Schneider 2HP 220V.	658,00	658,00
20	unidad	tubo de 1"x6m cedula 40	12,00	240.00
40	unidad	conexión universal	0,75	30.00
12	unidad	codos de 90	0,50	6.00
				898.00

5.4 Costos indirectos.

Constituyen los costos inherentes al estudio y a la construcción del sistema de control, además incluyen gastos de oficina, papelería, agua, luz, teléfono, gastos de investigación, entre otros. Pero para este caso solo se toma los costos ingenieriles.

COSTO INGENIERIL		
Costo Hora	Horas de trabajo	Total (\$)
75	8	600

5.5 Costo total.

El costo total de producción del sistema de control viene dado por la suma de los elementos detallados anteriormente, de esta forma se tiene:

OPERACIÓN	SUBTOTAL (\$)
Materiales	1164,00
	340,00
	898,00
Costo Ingenieril	600,00
	3002,00

Costos de operación y mantenimiento.

Son aquellos costos requeridos por la instalación cuando esta esté en funcionamiento continuo. En los costos de operación se tomo en cuenta la energía consumida por los ventiladores y el combustible del sistema de calefacción.

El costo de la energía está en función de las empresas distribuidoras de energía en este caso la Empresa Eléctrica de la ciudad de Riobamba.

Según la E.E.R.S.A, un consumo menor a 300 Kw se factura 0,072 USD el Kw-h, si se consume por encima de 300Kw-h, la facturación por Kw-h es de 0,102 USD.

5.6 Costo de energía mensual.

OPERACIÓN	CANTIDAD	H/DÍA	H/MES	POTENCIA[Kw]	ENERGÍA[Kw-h]
Ventilación	30	5	140	0,746	3133,2
Bombeo	9	2	56	0,37	186,48
Calefacción	1	2	56	0,746	41,78
TOTAL [Kw-h]					3361,46
TOTAL [\$]					342,87

CAPÍTULO VI

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

- Después de analizar varias alternativas para programar, el software que se escogió fue LabVIEW ya que la politécnica compró la licencia del programa LabVIEW.
- Según las investigaciones que se han realizado a lo largo del desarrollo de la presente tesis se ha podido concluir que los invernaderos más sofisticados en lo que se refiere a la climatización están ubicados en los países bajos y que, su importancia radica, a nivel general en la investigación realizada.
- Antes de diseñar y construir un equipo de dimensiones y costos considerables resulta muy útil crear diseños a escala porque a esa escala es posible estudiar el comportamiento aproximado de los diversos fenómenos que están presentes en el sistema de climatización.
- El diseño a escala del invernadero, ha permitido observar el comportamiento de las principales variables como son temperatura y humedad relativa. Esto permitirá que el mismo sistema de monitoreo y control pueda ser implementado sin inconveniente alguno en los invernaderos reales.
- Cuando se diseñan equipos y/o maquinaria siempre pueden existir dificultades, en especial del tipo adquisiciones, pues de lo que se trata es que un diseño pueda aplicarse a las condiciones reales y con este fin, se deben considerar aspectos como la disponibilidad de materiales y equipos en el mercado nacional además de su costo.
- Los elementos usados para el control son todos de tipo electrónico, en su mayoría de estado sólido. En este trabajo se han empleado estos componentes por el gran rendimiento que presentan para requerimientos rigurosos. De esta forma se ha incursionado en una nueva tecnología del control como es la electrónica con microcontroladores que puede resultar mucho más fiable, económica y de reducidas dimensiones que los métodos clásicos como los contactores, timers, controladores y PLCs.
- En el contexto de la programación uno de los datos de mayor relevancia es la codificación de los sensores los cuales permiten un buen funcionamiento del sistema.
- El uso de ventiladores permite un control más preciso de la temperatura del invernadero que es el que puede lograrse con la ventilación pasiva. Para climas fríos no es recomendable su instalación por el precio de la instalación y el consumo de

electricidad. La ASAE (American Society of Agricultural Engineers) establece una serie de normas para el diseño y control de sistemas de ventilación forzada se recomienda que la tasa de ventilación sea como mínimo de $\frac{3}{4}$ a un cambio total de aire por minuto.

6.2 **Recomendaciones**

- La principal recomendación que podemos realizar al termino de la presente tesis es que se deja una puerta abierta para que se pueda realizar un estudio aun más profundo en lo que se refiere al control del CO₂. Ya que este es otro parámetro que se debe considerar dentro de un invernadero.
- El software por sí solo no puede ser utilizado y necesita de un hardware que fue desarrollado en la tesis anterior que se ha mencionado.
- Hacer revisiones periódicas de los subsistemas de ventilación, calefacción y humidificación para que no existan imprevistos en los momentos en los que funcione el sistema.
- En caso de presentarse averías del sistema, se deben de tomar en cuenta los planos electrónicos siguiendo detalladamente las conexiones respectivas y poder corregir los inconvenientes que se presenten.
- El sistema en sí, no representa mayor dificultad, pero si la responsabilidad al momento de ser utilizado.
- Se recomienda que el operario del sistema, haya previamente estudiado y analizado el tutorial que viene adjunto con el software, para así poder obtener el mejor rendimiento del sistema.
- Los gases de combustión no deben ser introducidos directamente al invernadero ya que este aire ya caliente puede crear problemas de fitotoxicidad debido a sus componentes azufrados.
- Los ventiladores deben hacer circular el caudal de aire previamente calculado a la presión estática de 0.03 Kilopascales.
- La distancia entre dos ventiladores contiguos no debe ser superior a los 7.5 metros para asegurar la uniformidad en el flujo del aire.

1 GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Antecedentes.	1
1.3 Justificación.	2
1.4 Objetivos.	3
1.4.1 Objetivo general.	3
1.4.2 Objetivos específicos.	3
2 ANÁLISIS TEÓRICO DEL CULTIVO DE FLORES	4
2.1 Cultivo de flores.	4
2.1.1 Zonas productoras: principales provincias con cultivo de flores.	6
2.1.2 La superficie con cultivo de flores y su condición (bajo invernadero y campo abierto).	6
2.1.3 Número de UPAs con cultivo de flores.	7
2.1.4 Producción (tallos cortados) y comercialización.	9
2.1.5 Ventas al mercado internacional y nacional.	10
2.1.6 Las especies de flores cultivadas.	11
2.1.7 Características de las UPAs y de los productores que cultivan flores.	12
2.2 Invernaderos.	16
2.2.1 Tipos de invernaderos.	16
2.2.1.1 Invernadero Túnel.	16
2.2.1.2 Invernadero Capilla.	17
2.2.1.3 Invernaderos en dientes de sierra.	18
2.2.1.4 Invernaderos tipo capilla modificado (Chileno).	19
2.2.1.5 Invernaderos con techumbre curva.	20
2.2.1.6 Invernadero tipo parral (almeriense).	21
2.2.1.7 Invernadero tipo venlo (Holandés).	22
2.3 Sistemas de climatización.	23
2.3.1 Parámetros a considerar en el control climático.	23
2.3.1.1 Temperatura.	24
2.3.1.2 Humedad relativa.	25
2.3.1.3 Iluminación.	25
2.3.1.4 CO ₂	27
2.3.2 Climatología de la zona y factores ambientales.	28
2.3.3 Ubicación del invernadero.	28
2.3.4 Efecto invernadero.	29
3 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE CLIMATIZACIÓN Y SELECCIÓN DE LA MÁS ADECUADA.	30
3.1 Sistemas de calefacción.	30
3.1.1 Alternativas de Calefacción.	31
3.1.1.1 Calefacción por gases de combustión.	31
3.1.2 Calefacción por combustión.	43

3.1.2.1 Cámara de combustión y circuito de humos.....	44
3.1.2.2 Superficie de calefacción de la caldera.....	44
3.1.2.3 Caja de humos.....	45
3.1.2.4 Clasificación de las calderas según el tipo de combustible.....	45
3.1.2.5 Calderas para combustibles sólidos.....	45
3.1.2.6 Calderas para combustibles fluidos.....	46
3.1.2.7 Quemadores mecánicos.....	46
3.1.2.8 Quemadores atmosféricos.....	47
3.1.2.9 Calderas eléctricas.....	47
3.1.2.10 Potencia específica de una caldera.....	48
3.1.2.11 Cálculo de la caldera.....	48
3.1.2.12 Dimensiones de la cámara de combustión.....	48
3.1.3 Intercambiadores de calor.....	49
3.1.4 Calefacción por resistencias eléctricas.....	66
3.1.5 Calefacción por tuberías enterradas.....	68
3.2 Sistemas de enfriamiento.....	69
3.2.1 Ventilación.....	69
3.2.2 Ventilación natural o pasiva.....	69
3.2.3 Ventilación mecánica o forzada.....	70
3.3 Alternativas de Enfriamiento.....	71
3.3.1 Ventanas corredizas.....	71
3.3.2 Ventiladores.....	74
3.3.2.1 Tipos de ventiladores.....	75
3.3.2.2 Ventiladores axiales o helicoidales.....	75
3.3.2.3 Ventiladores radiales o centrífugos.....	76
3.4 Sistema de humidificación.....	80
3.4.1 Microaspersores.....	80
3.4.3 Selección del microaspersor.....	81
4 DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN, DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS	83
4.1 Diseño del Sistema de Automatización.....	83
4.2 Razones para Automatizar.....	84
4.2.1 Reducción de costos.....	84
4.2.2 La productividad.....	84
4.2.3 La seguridad.....	84
4.3 Niveles de Automatización.....	84
4.4 Tipos y Clasificación de Automatismos.....	85
4.5 El Proyecto de Automatización.....	86
4.5.1 Estudio de problema real.....	86
4.5.1.1 Estudio del proceso productivo.....	86
4.5.1.2 La tecnología.....	86
4.5.2 Proyecto.....	87
4.5.2.1 Diseño del proyecto.....	87
4.5.2.2 Esquemas.....	87
4.5.2.3 Materiales.....	87
4.5.3 Montaje, puesta a punto y mantenimiento.....	87
4.6 Composición de un Sistema Automatizado.....	88

4.7 Tecnologías Cableadas y Programadas.	89
4.7.1 Comunicación Serial.	92
4.7.2 Comunicación Estándar RS232.	94
4.7.3 Intercambio de Pulsos de Sincronización.....	94
4.7.4 Intercambio de Pulsos de Sincronización por Software.....	95
4.7.5 Intercambio de Pulsos de Sincronización por Hardware.	95
4.7.6 Intercambio de Pulsos de Sincronización XModem.....	96
4.8 Pirámide de Automatización.....	97
4.8.1 Nivel de Acción/sensado (nivel de célula).	97
4.8.2 Nivel de Control (nivel de campo).	98
4.8.3 Nivel de Supervisión (nivel de planta).	99
4.8.4 Nivel de gestión (nivel de fábrica).	99
5 ANÁLISIS DE COSTOS	105
5.1 Costos de los Sistemas de Calefacción.	105
5.1.1 Costos por Combustión.....	105
5.1.2 Costos por Resistencias Eléctricas.	105
5.1.3 Costos por Agua Caliente	105
5.2 Costos de los Sistemas de Enfriamiento.	106
5.2.1 Costos por Ventanas Corredizas.	106
5.2.2 Costos por Ventiladores.....	106
5.3 Costos del Sistema de Humidificación.	106
5.4 Costos indirectos.	107
5.5 Costo total.....	107
5.6 Costos de operación y mantenimiento.	107
6 Conclusiones y recomendaciones.....	108
6.1 Conclusiones	108
6.2 Recomendaciones	109

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	EXPORTACIONES DE FLORES NATURALES.....	4
2.2	PORCENTAJES DE UPAs.....	9
2.3	INFLUENCIA DE LA LUZ EN LA FISIOLOGÍA DE LAS PLANTAS...	26
3.1	VALORES ESPECÍFICOS DE COMBUSTIÓN DE DIVERSOS MATERIALES	32
3.2	VALORES REPRESENTATIVOS DE LOS COEFICIENTES TOTALES DE TRASFERENCIA DE CALOR EN LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	52
3.3	FACTORES DE INCRUSTACIÓN REPRESENTATIVOS.....	53
3.4	COEFICIENTES DE LA APROXIMACIÓN DE SONNTANG.....	65

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1 Exportaciones de flores.....	5
2.2 Provincias con producción de flores.....	6
2.3 Distribución provincial de la superficie cultivada con flores.....	7
2.4 Porcentajes de UPAs.....	8
2.5 Distribución provincial de las UPAs que producen para exportar.....	9
2.6 Porcentaje provincial de tallos comercializados.....	10
2.7 Contribución provincial a los mercados externo e interno.....	10
2.8 Porcentaje de superficie sembrada por especies principales.....	11
2.9 Variedades de flores exportadas por el ecuador.....	11
2.10 Distribución de la Superficie Sembrada por especie de flor.....	12
2.11 Relación de la persona productora con el tenedor de la UPAs.....	13
2.12 Fuente principal de la asistencia técnica.....	14
2.13 Servicio principal que recibe del gremio o asociación.....	15
2.14 Invernadero tipo túnel.....	16
2.15 Invernadero tipo capilla.....	17
2.16 Invernadero tipo diente de sierra.....	18
2.17 Invernadero tipo doble capilla.....	19
2.18 Invernadero tipo techumbre curva.....	20
2.19 Invernadero tipo parral.....	22
3.1 Reacción química de la combustión.....	43
3.2 Proceso de la transmisión de calor en un conducto.....	44
3.3 Cámaras de combustión con combustibles líquidos o gaseosos, y circuito de humos.....	44
3.4 Sección de una caldera de combustible sólido.....	45
3.5 Quemador de combustible gaseoso; accesorios de regulación control y seguridad.....	46
3.6 Sección de una caldera de combustible líquido con quemador mecánico.....	46
3.7 Caldera con quemador atmosférico.....	47
3.8 Red de resistencias térmicas.....	50
3.9 Variación de las temperaturas de los fluidos en un intercambiador...	57
3.10 Distribución en línea.....	62
3.11 Distribución escalonada.....	62
3.12 Alternativa 1.....	63

3.13	Alternativa 2.....	63
3.14	Alternativa 3.....	63
3.15	Tubería enterrada.....	68
3.16	Esquema de la ventilación de un invernadero.....	69
3.17	Ventilación cenital o natural en un invernadero.....	70
3.18	Cilindro neumático de doble efecto.....	72
3.19	Cilindro de simple efecto.....	73
3.20	1. Rejilla de protección. 2. Rotor. 3. Estator. 4. Eje. 5. Bobinas. 6. Cubo. 7. Palas. 8. Marco Soporte.....	75
3.21	Ventiladores Radiales.....	76
4.1	Sistema de control.....	83
4.2	Niveles de automatización.....	84
4.3	Representación de señal analógica.....	85
4.4	Señales digitales.....	85
4.5	Diagrama de bloque.....	86
4.6	Diagrama de interfaces.....	89
4.7	Micro controlador.....	90
4.8	Lógica de circuitos.....	90
4.9	Adquisición de datos.....	91
4.10	Pirámide de control.....	91
4.11	Conector DB-9.....	94
4.12	Niveles de gestión.....	97
4.13	MATLAB.....	100
4.14	LabVIEW.....	102
4.15	Paneles de LabVIEW.....	104

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** Necesidades Térmicas dentro del invernadero.
- ANEXO 2:** Selección del intercambiador de calor.
- ANEXO 3:** Selección de las resistencias eléctricas.
- ANEXO 4:** Tubería enterrada.
- ANEXO 5:** Selección del ventilador.